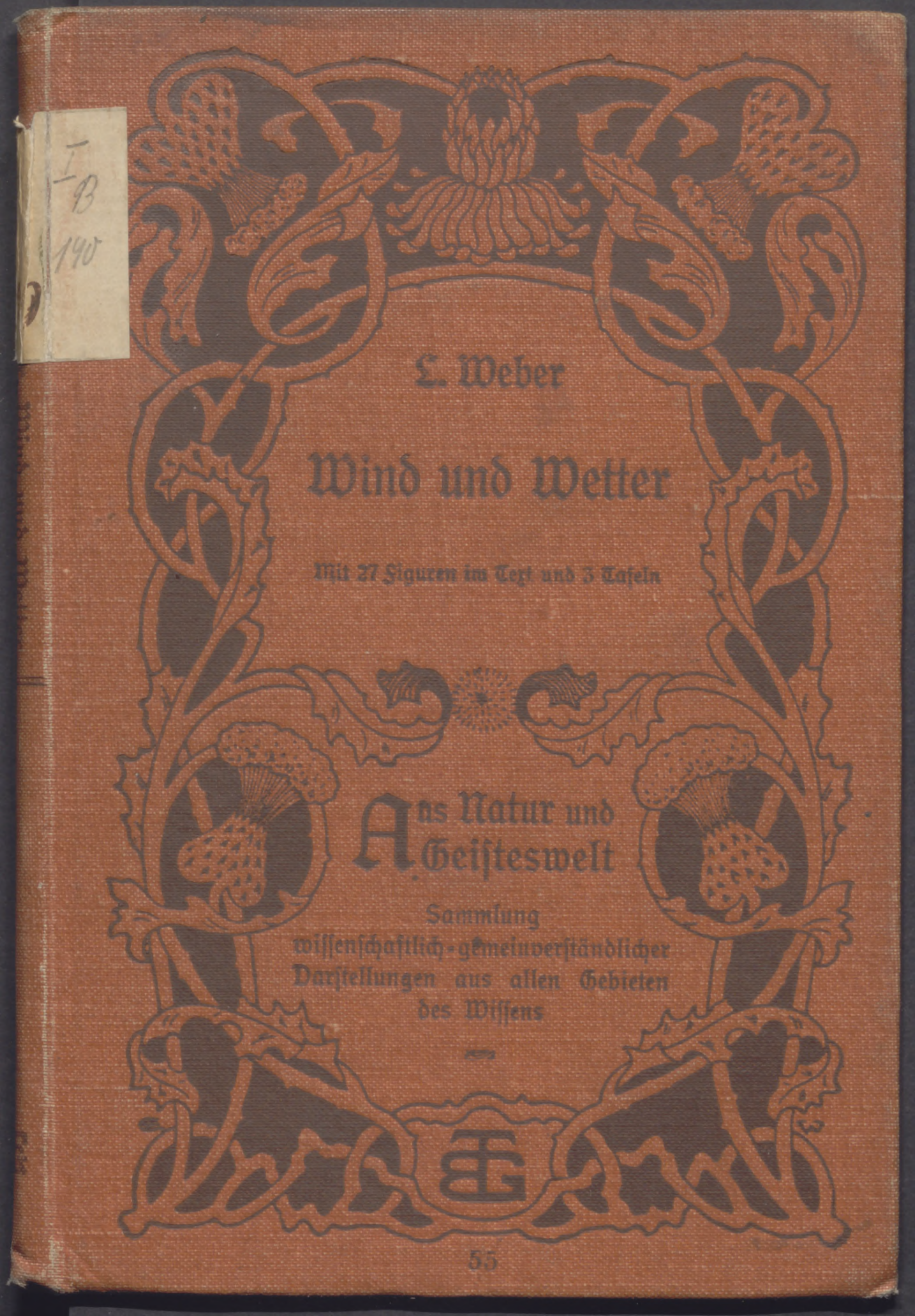


I
B
190
L. Weber
Wind und Wetter
Mit 27 Figuren im Text und 3 Tafeln
Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung
wissenschaftlich-gemeinverständlicher
Darstellungen aus allen Gebieten
des Wissens
BG
55

Aus Natur und Geisteswelt.

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.

Preis des Bändchens von 130—160 Seiten in farbigem Umschlag 1 Mark, geschmackvoll gebunden 1 Mark 25 Pfennige.
Geschmackvolle Einbanddecken werden zum Preise von 20 Pfg. geliefert.
Jedes Bändchen ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich.

Die Sammlung will dem immer größer werdenden Bedürfnis nach bildender, zugleich belehrender und unterhaltender Lektüre entgegenkommen. Sie bietet daher in einzelnen in sich abgeschlossenen Bändchen in sorgsamer Auswahl Darstellungen kleinerer wichtiger Gebiete aus allen Zweigen des Wissens und damit eine Lektüre, die auf **wirklich allgemeines Interesse** rechnen kann.

Eine erschöpfende allgemeinverständliche Behandlung des Stoffes soll auf wissenschaftlicher Grundlage ruhen, die die Mitwirkung angesehener und bewährter Fachmänner gewährleistet. So wird eine Lektüre geboten, die **wirkliche Befriedigung** und **dauernden Nutzen** verspricht.

Wie der Inhalt, so soll auch in jeder Weise den Zweck der Sammlung erreichen helfen die trotz des billigen Preises sorgfältigste Ausstattung: die in bester Ausführung beigegebenen Abbildungen, der geschmackvolle Einband.

Es erschienen bereits:

Philosophie und Pädagogik, Psychologie und Physiologie, Gesundheitslehre und Heilwissenschaft.

Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von Professor Dr. L. Busse in Königsberg i. Pr.
Will in allgemeinverständlicher Form mit den bedeutendsten Erscheinungen der neueren Philosophie bekannt machen; die Beschränkung auf die Darstellung der großen klassischen Systeme ermöglicht es, die beherrschenden und charakteristischen Grundgedanken eines jeden scharf herauszuarbeiten und so ein möglichst klares Gesamtbild der in ihm enthaltenen Weltanschauung zu entwerfen.

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold in München.
Beantwortet die Frage: Gibt es keine bindenden Regeln des menschlichen Handelns? in zuversichtlich bejahender, zugleich wohlbegründeter Weise.

Die Seele des Menschen. Von Professor Dr. Rehmke.
Bringt das Seelenwesen und das Seelenleben in seinen Grundzügen und allgemeinen Gesetzen gemeinfaßlich zur Darstellung, um besonders ein Führer zur Seele des Kindes zu sein.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Von Prof. Dr. O. Külpe in Würzburg. 2. Auflage.

Schildert die vier Hauptrichtungen der deutschen Philosophie der Gegenwart, den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus.

Das Nervensystem, sein Bau und seine Bedeutung für Leib und Seele im gesunden und kranken Zustande. Von Prof. Dr. R. Zander. Mit zahlr. Abbild.

Die Bedeutung der nervösen Vorgänge für den Körper, die Geistestätigkeit und das Seelenleben wird auf breiter wissenschaftlicher Unterlage allgemeinverständlich dargestellt.

Die fünf Sinne des Menschen. Von Dr. Jos. Clem. Kreibig in Wien. Mit 30 Abbildungen im Text.

Beantwortet die Fragen über die Bedeutung, Anzahl, Benennung und Leistungen der Sinne in gemeinfaßlicher Weise.

Allgemeine Pädagogik. Von Professor Dr. Theobald Ziegler.

Behandelt die großen Fragen der Volkserziehung in praktischer, allgemeinverständlicher Weise und in sittlich-sozialem Geiste.

Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Gemeinfaßlich dargestellt für die Gebildeten aller Stände von Oberstabsarzt Dr. Schumburg. Mit zahlreichen Abbildungen.

Verbreitet sich über das Wesen und die Ursache der Tuberkulose und entwickelt daraus die Lehre von der Bekämpfung derselben.

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel, Badearzt in Gräfenberg.

Gewährt dem Laien in den Inhalt des ärztlichen Wissens und Könnens von einem allgemeineren Standpunkte aus Einsicht.

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Dr. H. Sachs. Mit 37 Abbildungen.

Lehrt die Einrichtung und Tätigkeit der einzelnen Organe des Körpers kennen und sie als Glieder eines einheitlichen Ganzen verstehen.

Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Zander. Mit 19 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln.

Will darüber aufklären, weshalb und unter welchen Umständen die Leibesübungen segensreich wirken, indem es ihr Wesen, andererseits die in Betracht kommenden Organe bespricht.

Ernährung und Volksnahrungsmittel. Sechs Vorträge gehalten von Prof. Dr. Johannes Frentzel. Mit 6 Abbildungen im Text und 2 Tafeln.

Gibt einen Überblick über die gesamte Ernährungslehre und die wichtigsten „Volksnahrungsmittel“.

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Prof. Dr. H. Buchner. 2. Auflage, besorgt von Prof. Dr. M. Gruber. Mit zahlreichen Abbild. im Text.

Unterrichtet in klarer und überaus fesselnder Darstellung über alle wichtigen Fragen der Hygiene.

Naturwissenschaften und Technik.

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Felix Auerbach. Mit Abb.

Eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der Begriffe, die in der modernen Naturlehre eine allgemeine und exakte Rolle spielen.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Abstammungslehre und Darwinismus. Von Professor Dr. R. Hesse in Tübingen. Mit zahlreichen Abbildungen.

Die große Errungenschaft der biologischen Forschung des vorigen Jahrhunderts, die Abstammungslehre, welche einen so ungemein befruchtenden Einfluß auf die sog. beschreibenden Naturwissenschaften geübt hat, wird in kurzer, gemeinverständlicher Weise dargelegt.

Mikroskope. Von Dr. W. Scheffer. Mit zahlreichen Abbildungen.

Will bei weiteren Kreisen Interesse und Verständnis für das Mikroskop erwecken durch eine Darstellung der optischen Konstruktion und Wirkung wie der historischen Entwicklung.

Wind und Wetter. Von Prof. Leonh. Weber. Mit 27 Fig. i. Text u. 3 Tafeln.

Schildert die historischen Wurzeln der Meteorologie, ihre physikalischen Grundlagen und ihre Bedeutung im gesamten Gebiete des Wissens, erörtert die hauptsächlichsten Aufgaben, welche dem ausübenden Meteorologen obliegen, wie die praktische Anwendung in der Wettervorhersage.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Acht Vorträge aus der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. Mit 103 Abbildungen im Text. 2. Auflage.

Führt unter besonderer Berücksichtigung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein.

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Bauinspektor Curt Merckel. Mit zahlreichen Abbildungen.

Führt eine Reihe hervorragender und interessanter Ingenieurbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor.

Unsere wichtigsten Kulturpflanzen. Von Privatdozent Dr. Giesenhagen in München. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten, damit zugleich in anschaulichster Form allgemeine botanische Kenntnisse vermittelnd.

Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graetz. Mit 113 Abbildungen.

Führt von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben.

Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Professor Dr. Karl Eckstein. Mit 31 Abbildungen im Text.

Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf erfährt eine eingehende, ebenso interessante wie lehrreiche Darstellung.

Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. Janson. Mit vielen Abbild.

Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung auf geographischem, physikalisch-chemischem und biologischem Gebiete.

Bau und Leben des Tieres. Von Dr. W. Haacke. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Zeigt die Tiere als Glieder der Gesamtnatur und lehrt uns zugleich Verständnis und Bewunderung für deren wunderbare Harmonie.

Der Bau des Weltalls. Von Professor Dr J. Scheiner. Mit zahlreichen Abbildungen.

Will in das Hauptproblem der Astronomie, die Erkenntnis des Weltalls, einführen.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung
wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens
55. Bändchen

Wind und Wetter

Fünf Vorträge über die Grundlagen
und wichtigeren Aufgaben der Meteorologie von

Prof. Dr. Leonhard Weber

Mit 27 Figuren im Text und 3 Tafeln





1904
Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig

Vorwort.

Im November und Dezember 1902 beteiligte ich mich mit sechs Vorträgen über „Wind und Wetter" an den in Kiel eingerichteten Volkshochschulkursen. Da zu einer Niederschrift der Vorträge damals keine Zeit mehr war, ist die gegenwärtig vorliegende, auf Wunsch des Herrn B. G. Teubner hergestellte Ausarbeitung erst nachträglich entstanden. Sie beschränkt sich auf den Inhalt der ersten fünf Vorträge. Die in dem sechsten Vortrag behandelten optischen und elektrischen Erscheinungen der Atmosphäre werden einem zweiten Bändchen vorbehalten.

Ich habe mein Augenmerk hauptsächlich darauf gerichtet, die geschichtlichen und physikalischen Grundlagen zu beleuchten, auf denen sich die Wetterkunde entwickelt hat und habe vielfach der Versuchung widerstehen müssen, dem feineren Ausbau dieser umfangreichen Wissenschaft und einzelnen der vielen interessanten Aufgaben nachzugehen. Ein kleiner Beitrag zur Mechanik des Drachenfluges bildet vielleicht die Ausnahme hiervon. Speziellere physikalische Vorkenntnisse sind nicht vorausgesetzt.

Ich hoffe hierdurch den Leser, unter dem ich mir teils den ernstlich für Wetterkunde interessierten Laien, teils den Anfänger in der meteorologischen Wissenschaft gedacht habe, in den Stand zu setzen, sich auf dem ganzen Gebiete der Wetterkunde leicht zu orientieren und überall die Wurzeln zu erkennen, aus denen der vielverzweigte Baum dieser Wissenschaft hervorgewachsen ist.

Kiel 1903. **L. W.**

Inhalt.

I. Vortrag.

II. Vortrag.

III. Vortrag.

I. Vortrag.

Die meteorologische Beobachtung an der Erdoberfläche und die Instrumente.

Einleitung.

Das leibliche und geistige Wohlbefinden des Menschen ist von der Beschaffenheit der uns umgebenden Luft in hohem Maße abhängig. Im allgemeinen hat sich unsere Natur dem durchschnittlichen Zustande der Luft angepaßt, unsere Lebensbedürfnisse und Beschäftigungen sind eben naturgemäß so, wie sie sich unter Anpassung an die gegebenen Bedingungen entwickeln mußten. Auf die chemische Zusammensetzung der Luft ist unser Stoffwechsel mit seinen Atmungsorganen genau abgestimmt, Wärme, Druck und Feuchtigkeit der Luft stehen in bestem Verhältnisse zu den Wärmeregulatoren des Körpers, zu der inneren Spannkraft seiner Organe und zu der transpirierenden Tätigkeit von Haut und Lungen. Nichtsdestoweniger macht uns das Wetter zu schaffen nicht sowohl durch seinen durchschnittlichen Charakter, als durch seine Veränderungen. Wir sind empfindlich gegen den Wechsel der Witterung, insbesondere gegen wechselnde Wärme und Feuchtigkeit. Dagegen müssen wir uns wehren durch Kleidung, geschützte Wohnungen und künstliche Wärme, wenn wir uns wohl fühlen wollen. Ob wir unsern Spaziergang bei sonnigem warmen Wetter oder bei naßkaltem Regen machen, ob wir im Freien arbeitend von eisigem Nordwind oder von lindem Frühlingshauch umweht werden, ist uns keineswegs gleichgültig. Köstlich erfrischend und belebend wirkt die würzige Luft der Wälder, ermattend und unerträglich ist des Sommers Schwüle

und die versengende Kraft des Scirocco, erstarrend des Nordpols Kälte. Voll Bewunderung und mit wohligem Behagen lassen wir unsern Blick auf dem farbenprächtigen Abendhimmel ruhen, während der bleierne Himmel uns trübe stimmt und Furcht und Grausen uns erfaßt, wenn der Orkan mit Hagel, Blitz und Donner daherbraust. Aber noch tiefer eingreifend bald im günstigen bald im ungünstigen Sinne beeinflußt das wechselnde Wetter alle gewerblichen Beschäftigungen im Freien. Landwirtschaft und Gartenbau, Handel und Industrie, Fischerei und Schiffahrt sind in ihrem Gedeihen abhängig von Wind und Wetter. Nach der Laune des Wetters wechseln fette Jahre mit mageren. Ein einziger warmer Frühlingsregen rettet die junge Saat vor dem Verdursten; ob Millionen von Menschen hungern sollen oder nicht, hängt vom Eintritt befruchtender Regenzeit ab; ein einziger Sturm verschlingt die reichbeladenen Schiffe des Kaufmanns und rafft hunderte blühender Menschenleben hinweg.

Kein Wunder daher, daß die Völker aller Zeiten und Länder dem wechselnden Wetter stets mit dem regsten Interesse und oft mit der Sorge ums eigene Wohl und Wehe gefolgt sind. Kein Wunder auch, daß das in der guten Konversation verpönte Wettergespräch trotz alledem dasjenige Thema ist und bleibt, welches auf das allgemeinste Interesse rechnen darf.

Auffällig aber erscheint es auf den ersten Blick, daß die Menschheit trotz dieses großen Interesses, trotz täglicher durch die Jahrtausende fortgesetzter Beobachtung und trotz hoher geistiger Entwicklung den Rätseln des Wetters hilflos gegenüberstand. Die größten Gelehrten des Altertums konnten wohl dem Geistesleben der Menschen die feinsten Gesetze ablauschen, sie konnten Tiere und Pflanzen beschreiben, auch dem Lauf der Sterne mit erstaunlichem Scharfsinn folgen, aber die Naturgesetze des Wetters blieben ihnen verschlossen. Hier versagte die dem Menschen verliehene göttliche Kunst, Ursache und Wirkung getrennt zu erkennen, und aus der tausendfachen Mannigfaltigkeit der Erscheinungen das einfache grundlegende Gesetz zu finden, welches jene erklärt und begreiflich macht. Unerklärlich und zufällig war jede Wetteränderung und im Gefühle der völligen Machtlosigkeit ihnen gegenüber wies man die Wechselfälle des Wetters unmittelbar den Göttern zu. Jehovah droht seinem Volke mit Blitz und Donner, wenn es

nicht gehorchen will, er verspricht milden Regen und reiche Ernten, wenn es seinen Satzungen nachkommt. Bei den Griechen sammelt Zeus die Wolken um den Olymp und wenn er aus seiner Rechten den Blitzstrahl entsendet und mit der Linken die Ägis schüttelt, so verbreitet er Furcht und Entsetzen unter den Sterblichen. In Ägypten siegt Typhon mit seinen 72 Genossen gegen die beglückende Naturkraft des Osiris. Sonnenglut und Dürre kommen über das Land, bis Horos, des Osiris Sohn, heranwächst und den Typhon überwindet. Der alten Germanen höchster Gott Thor schwingt seinen Hammer und Blitze zucken und Donner rollt über das Land.

Wie kommt es nun, so müssen wir erstaunt fragen, daß dem Altertum die meteorologische Wissenschaft fast ganz unzugänglich blieb? Denn über die bloße Beobachtung hinaus, daß dies und das Wetter an dem und dem Tage geherrscht, daß mit Tages- und Jahreszeit die Wärme wechsele, daß gewisse Windrichtungen warm und feucht, andere trocken und kalt seien, gingen die Kenntnisse nicht. Jedenfalls finden wir keinen Versuch einer ursächlichen Erklärung und auch die Beschreibungen selbst sind höchst schwankend und unsicher, da Zahl und Maß ihnen völlig fehlt. Wir müssen nun den Grund hierfür in erster Linie darin suchen, daß es gerade in der Meteorologie ganz besonders schwierig ist, bei dem außerordentlich verwickelten Ineinandergreifen der verschiedensten Gesetze und Ursachen den inneren Zusammenhang aller Erscheinungen zu begreifen. Unaufhörlicher Wechsel ist die Regel, kein Tag ist wie der andere, das Bedingte wird zum Bedingenden und quantitativ kleine Änderungen eines meteorologischen Elementes haben große eines andern zur Folge. Diese Schwierigkeiten sind so groß, daß wir auch heute noch trotz des Bienenfleißes mehrerer Jahrhunderte, trotz der vollen Beherrschung der grundlegenden Gesetze über das Verhalten der Luft gegen Wärme und Druck und trotz Millionen niedergeschriebener Zahlen doch erst in den Anfängen der Wissenschaft vom Wetter stecken und noch weit entfernt sind die Gesamtheit aller Erscheinungen völlig erklären zu können. Aber auch den notwendigen Ausgangspunkt zu einem erfolgreichen naturwissenschaftlichen Studium der Wettererscheinungen fand das Altertum nicht. Der Weg nämlich, den jede Naturwissenschaft einschlagen muß, ist folgender: Zuerst müssen die Erscheinungen, die man

erklären will, genau beschrieben werden. Dann erst sind diese Beschreibungen zweckmäßig zu ordnen und zugleich ist nach den Gesetzen zu suchen, die sie verbinden. In der Tat hat die Geschichte gezeigt, daß erst, nachdem man imstande war, Wind und Wetter genau und mit ganz bestimmten Zahlen zu beschreiben, die weitere Forschung einsetzen konnte.

Eine solche genaue Beschreibung der verschiedenen Zustände der Luft konnte vom Altertum nun nicht gemacht werden, da die notwendigen Mittel hierzu, die Instrumente, fehlten. Daß die Luft mittags wärmer sei als morgens ist nicht genau genug. Um wie viel sie aber wärmer sei, konnte ohne Thermometer, das die Alten nicht besaßen, nicht angegeben werden. Erst mit der Entwicklung der Physik, deren fruchtbarer Keim von Galileo Galilei um das Jahr 1600 gelegt wurde, wurden die Instrumente gefunden, die zur Beobachtung des Wetters erforderlich waren.

Wir wollen nun dem hier angedeuteten Gange der wissenschaftlichen Entwicklung der Meteorologie folgen und heute Umschau halten, mit welchen instrumentellen Hilfsmitteln man imstande ist, einen zu irgend einer Zeit und an irgend einem Orte vorhandenen Zustand der Atmosphäre so genau zu messen und zu beschreiben, daß das Ergebnis der Messung allgemein verständlich ist.

Die Anstellung einer vollständigen meteorologischen Beobachtung an der Erdoberfläche.

Um den augenblicklichen Zustand der Atmosphäre an einem Beobachtungsorte mit allen in Betracht kommenden Eigenschaften vollständig und genau zu beschreiben, muß man folgende Angaben machen. 1. Wie ist die chemische Zusammensetzung der Luft? 2. Wie ist die Wärme der Luft? 3. Wie groß ist der Druck? 4. Wie viel Wasserdampf ist der Luft beigemischt? 5. Aus welcher Richtung kommt der Wind? 6. Wie stark ist er? 7. Wie ist die Bewölkung beschaffen? 8. Fallen Niederschläge und in welchen Mengen? 9. Welcher Art sind die Niederschläge? 10. Welche Lichterscheinungen sind vorhanden? 11. Wie ist der elektrische Zustand der Luft?

1. Die chemische Zusammensetzung der Luft kann, vom schwankenden Wasserdampfgehalte abgesehen, meteorologisch

als eine unveränderliche angesehen werden. Die Luft ist ein Gemenge von fast genau 4 Teilen Stickstoff und 1 Teil Sauerstoff und behält diese Zusammensetzung auf der ganzen Erde und auch in größeren Höhen im wesentlichen bei. Kleinere durch sehr genaue Analysen nachgewiesene Änderungen dieses Verhältnisses und ebenso die äußerst geringfügigen Beimengungen anderer Gase, wie der Kohlensäure, kommen für alle das Wetter berührenden Fragen durchaus nicht in Betracht. Allenfalls könnte der Gehalt an Ozon, einer molekularen Umsetzungsform des Sauerstoffs, insofern zur Wetterkunde herangezogen werden, als derselbe in gewissen Beziehungen zu dem elektrischen Zustande der Luft steht. Messungen des Ozongehaltes, die mit chemischen Reagentien unschwer auszuführen sind, haben aber mehr hygienisches und chemisches als meteorologisches Interesse. In 100 cbm Luft, die ein Gewicht von 129 kg darstellen, also etwa dem Inhalte eines Wohnzimmers, findet man in günstigen Fällen einige Milligramm Ozon. Wir können die Messung dieser Substanzen in der Wetterkunde hier übergehen. Eine etwas größere Bedeutung hat

der Staubgehalt der Luft. Außerordentlich winzige feste Körperchen teils mineralischen, teils organischen Ursprunges finden sich in großen Mengen schwebend in der Luft, wie jeder weiß, der einen ins dunkle Zimmer dringenden Sonnenstrahl beobachtet. Tausende von Staubteilchen reflektieren dann das Licht, während die gasförmige Luft für das Licht durchlässig ist. Es ist nun vor einiger Zeit von dem Engländer Aitken nachgewiesen worden, daß diese sehr kleinen festen Bestandteile bei der Bildung von Wolken und Regen eine sehr beachtenswerte Rolle spielen. Will sich nämlich der in der Luft vorhandene Wasserdampf zu flüssigem Wasser verdichten, so geschieht dies am leichtesten an der Oberfläche der Staubteilchen und wir finden daher in jedem Regentropfen einen Staubkern. Die Zahl der Staubteilchen kann daher von gewissem Einfluß auf Regenbildung werden. Außerdem ist auch der Staubgehalt für die Erklärung von optischen und elektrischen Vorgängen von erheblicher Bedeutung. Man kann die Menge der in der Luft enthaltenen Staubteilchen zählen, wenn man eine gemessene Anzahl von Kubikzentimetern der Luft in einen Glasballon sperrt, durch passenden Zusatz von Wasserdampf und geschickte Abkühlung

Nebelbildung eintreten läßt und alle die sich bildenden Wasserkügelchen auf den Glaswänden mit dem Mikroskope zählt. Soviel Tröpfchen soviel Staubteilchen. Reine Bergesluft enthält pro Kubikzentimeter wenige Hunderte, die staubige Luft der Städte viele Tausende von Staubteilchen. Nach Zentnern mißt der Staub, der sich über einer größeren Stadt schwebend erhält. Die Messung des Staubgehaltes gehört also mit zu den meteorologischen Beobachtungen. Ich habe dieselbe an erster Stelle erwähnt, nicht weil sie etwa die wichtigste wäre, sondern zu den seltenen und immerhin so schwierigen Beobachtungen gehört, daß sie füglich außerhalb des Rahmens der regelmäßig und häufiger anzustellenden Beobachtungen bleiben muß. Unter diesen letzteren nimmt vielmehr die erste und weitaus wichtigste Stelle ein

2. die Messung der Lufttemperatur. Der vollständige Mangel jeglichen Thermometers war es vor allem, welcher die alten Kulturvölker daran hinderte, meteorologisch brauchbare Beobachtungen zu machen. Denn die Messung der Lufttemperatur und ihre Angabe in allgemein verständlichen Zahlen ist so sehr die Hauptsache aller Wetterkunde, daß ohne dieses Element kaum ein einziger Schritt zur wissenschaftlichen Behandlung getan werden kann. Daß diese Lücke erst so spät ausgefüllt wurde, bleibt immerhin eine Merkwürdigkeit. Denn verhältnismäßig leicht ist es, die Wärmeausdehnung der Körper, welche auch den Alten bekannt war, zur Konstruktion eines Thermometers zu verwenden. In der Tat ist das Glasthermometer, wie es heute in jedem Zimmer hängt, eins der einfachsten Instrumente, dessen Konstruktion sich seit seiner Erfindung nur wenig geändert hat. Eine Glaskugel mit Flüssigkeit gefüllt und in ein enges Rohr auslaufend, dahinter eine Skala, das ist alles Wesentliche. So waren bereits die ersten Thermometer, die gegen Ende des 17. Jahrhunderts von der berühmten florentinischen Academia del Cimento benutzt wurden. Die Skala wurde damals so gemacht, daß man den Punkt markierte, an dem der Flüssigkeitsfaden sich im Keller einstellte und als oberen Punkt die ebenso konstante Temperatur des menschlichen Körpers nahm. Die Strecke zwischen beiden Punkten wurde in 50 oder 100 gleiche Teile eingeteilt. An Stelle dieser beiden sogenannten Fixpunkte hat man später zwei andere viel schärfer bestimmte gesetzt, die Temperatur des

schmelzenden Eises als unteren, diejenige des siedenden Wassers als oberen Fixpunkt. Teilt man die Strecke zwischen beiden in 80 gleiche Teile, so erhält man die Temperaturgrade nach Réaumur, die Einteilung in 100 Teile gibt die Grade nach Celsius und eine Einteilung in 180 Teile diejenigen nach Fahrenheit. Ein und dieselbe Temperaturdifferenz wird also durch 80° R, oder 100° C, oder 180° F, oder was dasselbe sagt, durch ein Vielfaches der Zahlen 4, 5 und 9 gemessen. Hiermit lassen sich leicht die Temperaturangaben der einen Art in die der anderen umrechnen, wenn man noch beachtet, daß der Fahrenheitsche Nullpunkt 32 Fahrenheitsche Grade unter der Temperatur des Eispunktes liegt. Es ist daher gleichbedeutend

0^0 F, $-14\,{}^2\!/_9{}^0$ R, $-17\,{}^7\!/_9{}^0$ C = Fahrenheits Nullpunkt,
32^0 F, 0^0 R, 0^0 C = Eispunkt,
212^0 F, 80^0 R, 100^0 C = Siedepunkt,
und es sind je 4^0 R = 5^0 C = 9^0 F.

Die Fig. 1 erläutert diese drei Thermometerskalen, welche leider noch immer nebeneinander gebräuchlich sind und dadurch den Meteorologen außerordentlich viel unnütze Mühe des Umrechnens gemacht haben und noch weiter machen. Ganz besonders unbequem ist das Fortbestehen der Fahrenheitschen Skala, die um so weniger Berechtigung hat, als sie auf der irrtümlichen Meinung beruht, daß durch Mischung von Schnee und Salz eine gut definierte unveränderliche niedrige Temperatur, nämlich die Fahrenheitsche Nulltemperatur erzielt werden könne. Für alle wissenschaftlichen Angaben ist längst die Celsiussche oder 100 teilige Skala angenommen. Es kann auch im allgemeinen Interesse nicht dringend genug empfohlen werden, alle Temperaturangaben im täglichen Leben ausschließlich nach Celsiusgraden zu machen. Als Füllflüssigkeit der Thermometer wurde ursprünglich Alkohol genommen, Réaumur führte das Quecksilber ein. Man kann auch trockene Luft oder irgend ein Gas, das man durch einen leichtbeweglichen Flüssigkeitstropfen absperrt, als thermometrische Substanz ver=

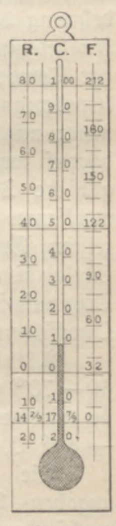


Fig. 1.

wenden. Die Bedeutung der Grade ändert sich aber dabei von Fall zu Fall. Teilt man z. B. bei einem mit Alkohol gefüllten Thermometer die Strecke zwischen dem Nullpunkt und der Körpertemperatur in 37 gleiche Teile, so haben diese Grade einen andern Wert, als wenn man mit einem Quecksilberinstrument dieselbe Einteilung vorgenommen hätte. Diese beiden Instrumente würden nämlich entsprechend dieser Herstellung zwar die gleichen Temperaturen 0° und 37° anzeigen, wenn man sie in Schnee bezw. in den menschlichen Körper einführt; aber wenn sie etwa beide in ein Gefäß mit Wasser von dazwischen liegender Temperatur gebracht werden, so zeigt das Alkoholthermometer weniger Grade als das Quecksilberthermometer. Der Alkohol dehnt sich bei niedrigen Temperaturen im Verhältnis zum Quecksilber weniger stark aus als bei höheren. Eine ähnlich starke Verschiedenheit besteht zwischen dem Quecksilber und der Luft nicht. Alle Gase verhalten sich außerdem völlig gleichmäßig in dieser Beziehung. Daher ist es von prinzipieller Wichtigkeit, daß man die Festsetzung machte, es solle die Ausdehnung der Gase oder, was fast genau dasselbe bedeutet, die Ausdehnung des Quecksilbers bei der ganz präzisen Definition der Temperaturgrade zugrunde gelegt werden. Damit ist nun keineswegs gesagt, daß man nicht auch absolut genaue Thermometer mit Alkoholfüllung machen könne. Man muß nur dann darauf verzichten, die Strecke zwischen den Fixpunkten in gleiche Teile einzuteilen. In der Tat sehen wir bei aufmerksamer Betrachtung eines Alkoholthermometers, daß die einzelnen Grade immer länger werden, je höher wir an der Skala hinaufgehen. Eine solche Skala kann auch nicht durch Originalteilung, sondern nur durch Vergleich mit einem guten Quecksilberthermometer hergestellt werden.

Alkoholthermometer sind bei Temperaturen von etwa 60—70° C nicht mehr zu gebrauchen. Dagegen können wir sie wiederum nicht entbehren für niedrige Temperaturen unter —40° C, bei denen das Quecksilber gefrieren würde.

Die Ansprüche an die Genauigkeit der Thermometerangaben haben sich naturgemäß im Laufe der Zeiten mit wachsender Verfeinerung der wissenschaftlichen Aufgaben sehr gesteigert. Von einem guten Normalthermometer, mit dem etwa andere verglichen und berichtigt werden sollen, kann man füglich eine Genauigkeit bis auf $^1/_{100}$° C verlangen. Solche

Ansprüche lassen sich freilich nur dann erfüllen, wenn verschiedene kleine Fehlerquellen, die dem Instrument anhaften, entweder ganz vermieden oder in Rechnung gezogen werden. Dahin gehört die Berücksichtigung des Luftdruckes bei Bestimmung der Fixpunkte, besonders des Siedepunktes. Das Kapillarrohr des Thermometers muß ferner genau von gleichmäßiger Weite sein. Ein anderer Übelstand lag früher darin, daß sich die Glaskugeln vom Zeitpunkte der Fabrikation an viele Jahre hindurch ganz allmählich etwas verkleinerten. Dadurch trat ein zu hoher Stand des Quecksilbers ein, der Fehler bis zu einem halben Grad ergab. Auch bei starken Temperaturdifferenzen konnte diese als elastische Nachwirkung zu bezeichnende Eigenschaft des Glases störend wirken. Die Erfindung des Jenenser Glases, kenntlich durch zwei parallele zarte rote, ins Glas eingeschmolzene Linien, hat dieser Fehlerquelle ein Ende gemacht.

Wer mit einem geringeren Grad von Genauigkeit zufrieden ist, kommt allenfalls mit den im Handel käuflichen Instrumenten aus. Man kann sich überdies selbst ohne große Mühe von der Richtigkeit derselben überzeugen. Zu diesem Zwecke suche man sich ein Gefäß mit durchlöchertem Boden zu verschaffen. In Ermangelung eines solchen kann man ein reines Handtuch beutelförmig in einen Topf oder Glashafen hineindrücken, so daß der Beutel noch über dem Boden bleibt. Man füllt mit Schnee, der schon anfängt zu tauen, das Schmelzwasser fließt unten ab, man steckt das zu prüfende Thermometer in den Schnee und packt es bis zum Nullpunkte hinauf gut in Schnee ein. Nach 10—15 Minuten zeigt dasselbe dann die genaue Lage des Eispunktes. Die Richtigkeit der Skaleneinteilung kann man etwa dadurch prüfen, daß man das Instrument zusammen mit einem guten ärztlichen Thermometer in Wasser von 37^0—40^0 steckt. Die Abweichung muß hier dieselbe sein wie beim Eispunkt. Bis auf wenige Zehntel eines Grades läßt sich so die Brauchbarkeit eines Thermometers prüfen.

Noch wichtiger übrigens und vielfach schwieriger als solche mehr oder weniger genauen Prüfungen des Instrumentes ist die Überlegung, wie und wo dasselbe aufzustellen ist, um damit den beabsichtigten Zweck, die Messung der Luftwärme, zu erreichen. Man mache sich folgendes klar. Die Temperatur

einer Thermometerkugel sucht sich zunächst durch Wärmeleitung mit der Temperatur der sie unmittelbar umgebenden Luft genau gleich zu stellen. Außerdem aber tritt ein Temperaturausgleich zwischen der Thermometerkugel und allen auch in größeren Distanzen befindlichen Körpern durch Wärmestrahlung ein. Die umgebende Luft bleibt hiervon unberührt, da sie die Wärmestrahlen nicht zu verschlucken vermag. Die Folge davon ist, daß wenn etwa ein heißerer Körper seine Strahlen zur Thermometerkugel sendet, diese letztere wärmer wird als die sie unmittelbar umspülende Luft. Oder wenn ein kälterer Körper in der Umgebung ist, so verliert die Thermometerkugel gegen diesen Wärme durch Strahlung und wird daher kälter als die unmittelbar benachbarte Luft. Stellen wir ein Thermometer z. B. einer von Sonnenstrahlen erhitzten Wand gegenüber, so zeigt dasselbe eine höhere Temperatur als die Luft besitzt, in der es sich befindet. Umgekehrt zeigt dasselbe zu niedrige Temperatur, wenn ein merklich kälterer Körper, etwa der kalte Erdboden, ihm gegenübersteht. In diesen Fällen wird also das, was eigentlich gemessen werden soll, die Temperatur der Luft, nicht richtig gemessen. Diese störenden Einflüsse der Wärmestrahlung werden natürlich ganz besonders groß und fälschend, wenn etwa das Thermometer direkt der heißen Sonnenstrahlung ausgesetzt ist, zumal, wenn die Glaskugel nicht ganz blank oder gar berußt ist. Man kann nun diese sehr unbequemen Strahlungen ziemlich vollständig dadurch beseitigen, daß man das Thermometer mit einem weiten ringsum schützenden Gehäuse umgibt, welches aber doch auch der Luft den Zutritt nicht versperren darf und daher jalousieartig konstruiert wird. Daher finden wir auf meteorologischen Stationen die Thermometer in besonderen ringsum abschirmenden Gehäusen aufgestellt, die natürlich mit Türen oder Klappen versehen sein müssen, um eine schnelle Ablesung der Instrumente machen zu können. Ganz vollständig schützt dies Verfahren der Abschirmung zwar auch nicht immer, denn die Schirme selbst werden ja auch durch Strahlung beeinflußt und strahlen nun ihrerseits nach innen auf die Thermometerkugel, wenn auch sehr abgeschwächt. Man wendet daher noch ein zweites Mittel an und sorgt dafür, daß die zu messende Luft in recht großen Mengen unmittelbar an dem Thermometer vorbeigeführt wird, so daß der Wärmeaustausch durch Leitung überwiegend groß

gegen den durch Strahlung wird. Auf ungeschütztem Terrain, wo andere Hilfsmittel der Beschirmung nicht vorhanden, erreicht man dies durch sogenannte Schleuderthermometer. Man bindet eine sichere Schnur an das Instrument und schwingt es eine Weile lebhaft herum. Die überwiegende Wirkung der Wärmeleitung ist dann so groß, daß selbst die direkten Sonnenstrahlen, welche dabei die Kugel treffen, keine merkliche Fälschung der Temperatur zur Folge haben. In besonders praktischer Weise kommt diese Methode beim Aßmannschen Aspirationsthermometer zur Anwendung. Die hier zu einem dünnen, langen Zylinder gestreckte Thermometerkugel befindet sich in der Achse eines vernickelten, nach innen und außen blitzblanken Metallrohres, durch das mittels eines Aspirators ein schneller Luftstrom getrieben wird. Natürlich muß die herangezogene Luft dem Orte entnommen sein, dessen Lufttemperatur bestimmt werden soll und darf auf ihrem Wege zum Thermometer an keinem festen Körper vorbeistreifen, dessen Temperatur eine von der Luft merklich verschiedene ist.

Mit Hilfe aller dieser Vorsichtsmaßregeln und wenn man außerdem das Thermometerhäuschen oder das Aspirationsthermometer an möglichst luftigem und gegen Sonnenstrahlung geschütztem Orte, also etwa an der Nordwand eines frei gelegenen Hauses aufstellt, gelingt es, diejenige Lufttemperatur zu ermitteln, welche als meteorologische Temperatur des Ortes gemeint ist.

Für die Wetterkunde ist es nun weiter von großem Wert, nicht bloß zu einem oder wenigen Zeitpunkten am Tage die Lufttemperatur zu messen, sondern womöglich den gesamten Gang der Temperatur während Tag und Nacht, oder zum mindesten die höchste und niedrigste in 24 Stunden erreichte Temperatur zu kennen. Da es jedoch eine etwas zu starke Zumutung an einen Beobachter sein würde, unausgesetzt am Thermometer zu stehen, so sind Apparate konstruiert, welche selbsttätig den Gang der Temperatur aufzeichnen, sogenannte Registrierthermometer und andere, welche gleichfalls automatisch die höchste und niedrigste Temperatur anzeigen. Auf jene komme ich im nächsten Vortrag zurück; diese, die Maximum- und Minimum-Thermometer lege ich in je einer Konstruktionsart vor.

Das Maximum-Thermometer wird liegend aufgestellt. Seine Wirkung beruht darauf, daß das kapillare mit Quecksilber gefüllte Röhrchen in der Nähe der Kugel eine noch wieder sehr verengte Stelle (Fig. 2) hat. Beim Steigen der Temperatur preßt sich das Quecksilber ohne Schwierigkeit durch diese Verengerung. Tritt aber nun ein Rückgang ein, so reißt der Faden an der verengerten Stelle ab, das Quecksilber in der Kugel zieht sich, eine kleine luftleere Blase bildend, für sich zusammen ohne den abgerissenen Faden nachzuziehen. Dieser aber ist genau da liegen geblieben, wo er beim höchsten Stande war, und läßt somit die inzwischen erreichte höchste Temperatur unmittelbar ablesen. Soll das Instrument für den nächsten Tag wieder vorbereitet werden, so hält man es vertikal und läßt den abgerissenen Faden durch die enge Stelle in die Kugel hineinsinken. Diese von dem englischen Mechaniker Casella verfertigten Instrumente sind zuerst von den Mechanikern Negretti und Zambra erdacht. Man wendet auch wohl das noch früher von Six (1782) erdachte Prinzip an, durch den Quecksilberfaden einen Stahlstift vorwärts schieben zu lassen, der dann liegen bleibt, wenn das Quecksilber zurückgeht und so die höchste Temperatur erkennen läßt.

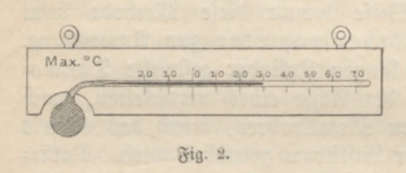


Fig. 2.

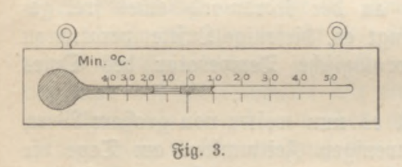


Fig. 3.

Das Minimum-Thermometer in der von Rutherford (1794) ersonnenen und noch jetzt benutzten Form (Fig. 3), enthält Alkohol oder Toluol als thermometrische Substanz und wird auch liegend aufgestellt. In der Flüssigkeit schwimmt ein Glasstiftchen mit verdickten Enden. Dasselbe wird beim Sinken der Temperatur mit zurückgenommen und bleibt liegen, wenn die Flüssigkeit sich wieder ausdehnt. Neigt man das Instrument, so sinkt das Glasstäbchen bis ans Ende der Flüssigkeit, wird aber durch die Oberflächenspannung derselben verhindert, aus ihr herauszutreten.

Maximum- und Minimum-Thermometer in einem

Instrumente vereinigt werden in der ursprünglichen von Six konstruierten Form noch vielfach benutzt. Die Flüssigkeit ist hier (Fig. 4) durch einen Quecksilberfaden in dem unteren Doppelschenkel der Röhre unterbrochen. Das Quecksilber schiebt auf jeder Seite einen mit federnder Borste versehenen Eisenstift vor sich her, der beim Zurückgehen oder Steigen in der Röhre festgeklemmt bleibt und so links das Minimum, rechts das Maximum ablesen läßt. Für die neue Einstellung zieht man diese Stifte mittels eines Magneten wieder bis zum Quecksilber hin.

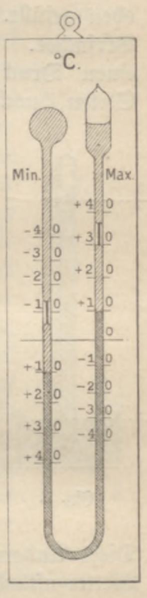


Fig. 4.

In den Figuren 1 bis 4 ist der augenblickliche Stand der Thermometer

$$+10^0\,C = +8^0\,R = +50^0\,F,$$

das Maximum lag bei $+30^0$ C; das Minimum bei -5^0 C.

Die erste jetzt nicht mehr übliche Form von Maximum- und Minimum-Thermometern rührt von Cavendish (1757) her.

3. Die Messung des Luftdruckes liefert ein zweites wichtiges Element meteorologischer Beobachtung. Noch viel weniger als an ein Temperaturmaß dachten die Alten an ein Maß des Luftdruckes. Ihnen war es überhaupt unbekannt, daß die Luft einen Druck auf alle sie begrenzenden festen und flüssigen Körper ausübt. Erst Toricelli, Galileis Schüler, wies dies durch seinen berühmten Versuch nach. Wohl wußte man vorher, daß, wenn man ein langes Rohr ins Wasser steckt und oben ansaugt, das Wasser etwa höchstens 10 m in dem Rohre aufsteige. Man gab die naive Erklärung hierfür, daß die Natur einen Abscheu vor dem Leeren, einen horror vacui habe und dachte, daß das Wasser auch vielleicht noch höher als 10 m steigen könne, wenn man nur imstande sei, den letzten Rest der oben im Rohre befindlichen Luft vollkommen weg zu saugen. Toricelli füllte ein Glasrohr, das an einem Ende zugeschmolzen war, mit Quecksilber, kehrte das Rohr um, indem er das offene Ende ohne Luftzutritt unter die Oberfläche einer mit Quecksilber gefüllten Schale brachte

und fand nun, daß sich am geschlossenen Rohrende ein vollkommenes Vakuum bildete und daß das Quecksilber immer bis zu einer ganz bestimmten Höhe über dem Niveau der Schale herabsank, gleichgültig wie lang er im übrigen das Glasrohr gewählt hatte. Nur mußte es länger als etwa 76 cm sein. Denn gerade soviel höher stand das innere Niveau über dem äußeren. Kürzere Glasröhren blieben beim Umkehren stets bis oben gefüllt. Toricelli gab auch die richtige Erklärung seines Versuches. Die äußere Luft übt auf das Niveau der Schale einen Druck aus, dieser verteilt sich gleichmäßig nach allen Seiten, nach unten und oben in der Flüssigkeit und hält so dem Gewichte der gehobenen Quecksilbersäule das Gleichgewicht.

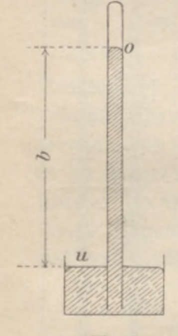


Fig. 5.

Diese Höhe ist nun vollkommen unabhängig von der Weite des Glasrohres. Dagegen ist sie um so kleiner, je größer das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist. Da das Quecksilber $13\frac{1}{2}$ mal schwerer als Wasser ist, so würde derselbe Toricellische Versuch mit Wasser ausgeführt eine Niveaudifferenz von 76 cm $\times$ 13,5 also nahezu von 10 m ergeben.

Der in Fig. 5 dargestellte Apparat des Toricellischen Versuches stellt nun bereits ein zum Messen des Luftdruckes geeignetes Instrument, ein Barometer dar. Ändert sich der Luftdruck, so ändert sich in demselben Maße die Höhe *b*. Diese Änderungen können an demselben Ort in verschiedenen Wetterzuständen 5—6 cm betragen. Mit zunehmender Erhebung über die Erdoberfläche nimmt der Druck nach ganz bestimmten Gesetzen ab, der Druck der über dem Instrumente lastenden Luft wird eben kleiner, je höher wir in die Atmosphäre hinaufgehen. In der Höhe des Meeresspiegels beträgt der „Barometerstand" im Durchschnitt 76 cm Quecksilber oder 760 mm. Er steigt hier wohl mitunter auf 780 und fällt zu Zeiten bei heftigen Stürmen auf 720 mm.

Lediglich zur bequemeren Handhabung und zur besseren Messung des Niveauunterschiedes *b* (der Barometerhöhe) gibt man dem Instrumente diese oder jene abgeänderte Form und diverse Nebenteile. Da, wie schon bemerkt, weder die Weite des Rohres noch auch die Größe der Oberflächen *o* und *u* von

wesentlichem Einfluß auf die Höhe *b* ist, so mißt die in Fig. 6 abgebildete Form die Barometerhöhe *b* genau ebenso gut, wie die Form in Fig. 5. Letztere (Fig. 5) kennzeichnet die Klasse der sogenannten Gefäßbarometer, erstere (Fig. 6) diejenige der Heberbarometer. Der Unterschied beider im Gebrauch ist leicht zu erkennen. Wächst der Luftdruck, so muß die Distanz *b* größer werden. Dies wird bei dem Gefäßbarometer dadurch geschehen, daß das obere Niveau *o* sich hebt, während das untere Niveau *u* um so weniger verändert wird, je größer die Fläche *u* im Verhältnis zu *o* ist. Beim Heberbarometer, dessen beide Schenkel etwa gleich weit seien, wird steigender Luftdruck die Oberfläche *o* höher und die Oberfläche *u* tiefer legen. Bringt man demnach hinter dem Barometer einen vertikalen Maßstab an, um den Höhenunterschied *b* zu messen, so muß man den Nullpunkt des Maßstabes mit dem veränderlichen Niveau *u* auf und abschieben können, während derselbe beim Gefäßbarometer in unveränderlicher Stellung zum Gefäß bleibt. Bei diesem letzteren braucht man daher überhaupt nur ein kleines Stück des Maßstabes, welches man ein für allemal derart hinter das obere Glasrohr befestigt, daß das nach unten verlängert gedachte Maß mit dem Nullpunkt genau auf das Niveau *u* trifft. Man braucht diese Instrumente daher nur oben abzulesen. Bei vielen Instrumenten ist das untere Niveau zwar erheblich größer als das obere, aber doch nicht unendlich mal, vielleicht nur 10- oder 50mal größer. Man kann sich auch in diesen Fällen mit der einfachen Ablesung oben begnügen, wenn man die Millimeterstriche entsprechend (also um den 10. bezw. 50. Teil) verkleinert, und diese reduzierte Skala mit Hilfe eines richtigen Heberbarometers ein für allemal passend befestigt.

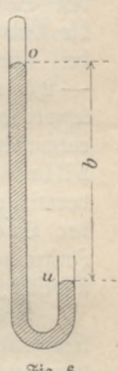


Fig. 6.

Zur Erzielung einer möglichst großen, im äußersten Falle etwa bis auf $1/_{50}$ mm erreichbaren Genauigkeit der Messung von *b* ist ein gutes Barometer mit verschiedenen Hilfsapparaten ausgestattet. Hierhin gehören Ablesungslupen, welche mit Visierfäden versehen sind und zugleich mit einem sogenannten Nonius (einer zur Schätzung der zehntel Millimeter dienenden Nebenskala) verbunden längs der Hauptskala verschiebbar sind. Mittels

feiner Elfenbeinspitzen, welche den Nullpunkt der Skala markieren, und deren zartester Kontakt mit der Quecksilberoberfläche *u* äußerst scharf zu beobachten ist, kontrolliert man, ob das untere Niveau richtig steht. Ein Thermometer in der halben Höhe der Quecksilbersäule gibt die Temperatur des Quecksilbers an und dient zur Temperaturkorrektion des Barometers. Man soll den Luftdruck nämlich streng genommen mit einem Barometer messen, dessen Quecksilber genau 0 Grad besitzt. Wärmeres Quecksilber ist leichter und bedingt daher eine größere Höhe *b*. Daher berechnet man mittels der Thermometerangabe wie hoch das Barometer stehen würde, wenn die Temperatur des Quecksilbers 0 Grad wäre. Die aus dieser Ursache an die Barometerablesung jedesmal anzubringende Korrektion steigt bei einer Temperatur des Quecksilbers von 20° C bis zu — 2,5 mm. Außerdem ist noch zu berücksichtigen, daß die konvex gerundete Kuppe des Quecksilbers durch die sich hierbei entwickelnden Kapillarkräfte ein Herabdrücken der Kuppe (Kapillardepression) bewirkt. Der hieraus entspringende Fehler vermindert sich übrigens sehr schnell mit zunehmender Größe der Quecksilberoberfläche und erreicht nur bei minderwertigen Instrumenten mit engem Rohre Werte, die ein Millimeter überschreiten.

Von diesen nur für feinere Beobachtungen in Betracht kommenden Berichtigungen abgesehen, bleibt für alle Quecksilberbarometer, mögen sie nun grob oder fein sein, doch ein Punkt immer gut zu überwachen, das ist die völlige Luftleere über dem Quecksilber. Kommt durch irgend welche Veranlassung ein Luftbläschen in das Quecksilber und steigt es nach oben, so ist die ganze Grundlage, auf der das Instrument beruht, in Frage gestellt, und wenn diese Bläschen auch nur die Größe eines Stecknadelkopfes hatten, drücken sie doch das Niveau gleich merklich herunter und nehmen den Ablesungen ihren Wert. Barometern, die im Wohnzimmer aufgehängt sind, passiert ein solches Malheur bekanntlich recht häufig, wenn unkundige Hände sie beim Reinmachen des Hauses berühren dürfen. Glücklicherweise kann man sich ziemlich leicht davon überzeugen, ob das Vakuum noch gut ist. Man neige das Instrument und lasse das Quecksilber vorsichtig nach oben steigen. Schlägt dasselbe mit hellem Silberklang ans Glas, so kann man beruhigt sein.

Andernfalls muß das Rohr neu „ausgekocht" werden, was an sich schon unbequem ist und außerdem einen Rücktransport des reparierten Instrumentes vom Mechaniker zur Folge hat, wobei sehr leicht wieder das gleiche Unglück eintreten kann. Die Freude der Wetterbeobachter an einem Quecksilberbarometer ist daher mit allerlei Leid verbunden.

Aus diesem Grunde hat sich eine andere Art des Barometers, welche gegen die Unbill des Transportes nicht empfindlich ist, eine ungemein große Verbreitung errungen. Es sind dies die **Metallbarometer**, auch Aneroide oder Holosteric-Barometer genannt. Bei diesen Instrumenten wird dem Luftdruck durch die Elastizität eines festen Körpers das Gleichgewicht gehalten. Eine flache, hohle, von Luft völlig entleerte Wellblechkapsel (Fig. 7) wird durch den äußeren Luftdruck zusammengepreßt, je nach dessen Stärke und je nach der Elastizität der Wandung mehr oder weniger stark. Ändert sich nun der Luftdruck, so können die hierbei eintretenden Formänderungen der Kapsel als Maß für seine Stärke dienen. Die sehr kleinen, direkt nicht erkennbaren Einbiegungen des Kapseldeckels werden zu diesem Behufe durch Hebel- und Radübertragung vergrößert und durch die Einstellung eines Zeigers auf einer Skala abgelesen. Die Einteilung dieser Skala wird mit Hilfe eines Quecksilberbarometers gemacht. Den korrespondierenden Strichen beider Instrumente gibt man die gleiche Zahlenbezeichnung. Daher finden wir auf dem Aneroid auch eine nach Millimetern fortschreitende Skala und es gibt der vom Zeiger markierte Strich stets an, wie hoch ein Quecksilberbarometer an demselben Orte und zu gleicher Zeit stehen würde. Daß die Striche auf dem Aneroid untereinander stets gleiche Abstände haben und nicht etwa, wie bei Alkoholthermometern nach einer Richtung wachsende, beruht darauf, daß die elastischen kleinen Formänderungen der Kapsel genau der Druckvermehrung proportional sind.

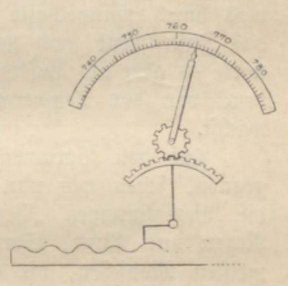


Fig. 7.

Ihrer zierlichen allgemein bekannten Form und ihrer Handlichkeit wegen sind diese Aneroide in der Tat ein höchst



bequemer Ersatz für die Quecksilberbarometer, sie sind auch äußerst empfindlich und lassen die kleinsten Änderungen des Luftdruckes noch besser und bequemer ablesen. Wenn man sich aber darauf verlassen will, daß die von ihnen abgelesenen Zahlen absolut genommen richtig sind, d. h. genau mit dem Quecksilberbarometer übereinstimmen, so muß man hin und wieder beide Instrumente nebeneinander vergleichen. Man wird dann gewöhnlich finden, daß das Aneroid mit der Zeit etwas heruntergeht, d. h. alle Angaben desselben sind um den gleichen Betrag zu klein. Durch Benutzung einer von der Rückseite zugänglichen Justierschraube läßt sich übrigens diese Differenz leicht ausgleichen. Sollte im Laufe der Jahre eine geringe Menge Luft in das Innere der Kapsel dringen, was durch mangelhafte Verlötung kommen kann, so reagiert das Instrument auch noch auf wechselnden Luftdruck, zugleich wirkt es aber als Luftthermometer, da nun der innere Gegendruck von der Temperatur abhängig wird und mit derselben wächst.

Auf den Barometern, die uns im täglichen Leben begegnen, sehen wir nun außer den Strichen und Zahlen noch die Bezeichnungen „Beständig, Schön Wetter, Veränderlich, Regen und Wind, Sturm“ und ich möchte glauben, daß die meisten Menschen, die ein Barometer betrachten, mehr nach diesen Bezeichnungen, als nach den Zahlen sehen. Welche Bewandnis hat es hiermit und warum wird das Barometer auch vielfach das Wetterglas genannt? Es rühren diese Bezeichnungen aus früherer Zeit her, in der man annahm, daß die verschiedenen Stände des Barometers das kommende Wetter ankündigten und daß mit beständigem, veränderlichem oder stürmischem Wetter ein hoher, mittlerer oder niedriger Barometerstand verbunden sein müsse. Obwohl nun vielfache Ausnahmen von dieser Regel leicht zu beobachten sind, und die Beziehung zwischen dem Wetter und dem Barometer sich als keineswegs so einfach herausgestellt hat, so hat man doch jene Bezeichnungen bis auf den heutigen Tag beibehalten. Es steckt auch wirklich mehr als ein Körnchen Wahrheit darin. Wir werden aber auf diese Frage in dem 5. Vortrag näher eingehen müssen, und daher vorläufig die Berechtigung jener Wetterbezeichnungen unentschieden lassen. Ich möchte damit ausdrücklich hervorgehoben haben, daß das Barometer als exaktes wissen-

schaftliches Instrument zunächst nur zum Messen des Luftdruckes dient, wie auch sein Name sagt (Schweremesser). Es löst dadurch die wichtige Aufgabe, den Druck und die dem Drucke proportionale Dichtigkeit der Luft ziffernmäßig genau zu bestimmen. Die beiden den Zustand der trockenen Luft erschöpfend kennzeichnenden Eigenschaften der Temperatur und des Druckes entnehmen wir also den Angaben von Thermometer und Barometer. Nächst diesen beiden Grundelementen, ohne deren Kenntnis keine Erklärung der Wetterzustände unternommen werden kann, ist von hervorragender Bedeutung

4. die Messung des Wasserdampfgehaltes der Luft. Ich brauche wohl kaum darauf aufmerksam zu machen, daß man in der Wetterkunde und in der Physik überhaupt unter Wasserdampf nicht etwa die dem Auge sichtbaren feinsten Wasserteilchen versteht, wie wir sie dem Dampfrohr der Maschinen oder dem siedenden Teekessel entströmen sehen. Das, was uns hier als weißer Nebel sichtbar wird, ist eben kein Dampf, sondern bereits zu flüssigem Wasser umgewandelter oder wie man sagt kondensierter Dampf. Die kleinsten Teilchen des sichtbaren Nebels bestehen aus sehr kleinen Tropfen flüssigen Wassers, die sich eben wegen ihrer Kleinheit lange schwebend in der Luft halten. Der eigentliche, noch nicht kondensierte Dampf ist vielmehr völlig unsichtbar, denn er ist ebenso durchsichtig wie die Luft und kein Mikroskop, geschweige denn das Auge kann die kleinsten Teile des Dampfes, die wir Moleküle nennen, überhaupt sehen. Die Umwandlung aus dem dampf- oder gasförmigen in den flüssigen Zustand heißt die Kondensation und wir haben uns dieselbe so zu denken, daß viele Tausend Moleküle Wasserdampf sich zu mikroskopisch kleinen Kügelchen zusammenballen, die nun ein Tröpfchen bilden und die Eigenschaften der flüssigen Körper haben. Der umgekehrte Übergang aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand heißt die Verdampfung. Der flüssige Wassertropfen verliert dabei immer mehr und mehr Wassermoleküle, bis er kleiner und kleiner, vom Mikroskop längst nicht mehr erkennbar wird und sich schließlich in alle seine Moleküle aufgelöst hat. Wann Verdampfung, wann Kondensation eintritt, das hängt nun teils von der Temperatur, teils von der Menge der schon in der umgebenden Luft enthaltenen Dampfmoleküle ab. Denken wir

uns einmal einen geschlossenen Glasballon von 1 cbm Inhalt. Der Einfachheit wegen sei die Luft aus demselben völlig ausgepumpt. Wir bringen eine kleine Menge Wasser, sagen wir 30 ccm in den Ballon. Es erfolgt dann eine Verdampfung. Aber das flüssige Wasser verdampft nicht völlig. Die Verdampfung hört auf, wenn eine ganz bestimmte Menge von Wassermolekülen in dem Ballon unsichtbar herumschwirren. Wo diese Grenze liegt, bestimmt allein die Temperatur. Ist der Ballon z. B. in einem Raum von 20° C, so finden wir, daß von den 30 ccm Wasser, die wir in denselben hineingetan haben, nur etwa 17 ccm oder g verdampfen. Sobald noch mehr Moleküle sich vom flüssigen Wasser ablösen, werden die als Gas herumschwebenden Moleküle zu dicht gedrängt und kondensieren sich wieder. Bei der gegebenen Temperatur ist also 17 g Wasser das Äußerste, was sich in Gasform in einem Kubikmeter halten kann. Der Raum ist mit Wasserdampf gesättigt und die vorhandene Wasserdampfmenge heißt die der Temperatur 20° entsprechende Sättigungsmenge. Diese Sättigungsmenge wächst mit steigender Temperatur. Bei + 10° war sie nur 9 g, bei + 20° 17 g, bei + 30° C ist sie 30 g und wächst nun in schnellerem Tempo als die Temperatur.

Die in den Ballon gefüllten 30 ccm würden also bei dieser Temperatur ganz in Dampf verwandelt werden. Steigern wir die Temperatur bis auf 40° C, so fehlt es nun an Wasser, um den Raum zu sättigen. Die nur disponiblen 30 g überschreiten somit ihre Sättigungstemperatur und werden nun überhitzter Dampf genannt. Helfen wir aber dem Wassermangel ab und geben noch 1 l = 1000 g Wasser in den Ballon, so verdampfen bei 40° noch weitere 25 im ganzen also 55 g. Bei 100° C würden etwa 750 g verdampfen. Der Wasserdampf übt nun wie jedes Gas einen Druck auf die Wände aus Könnten wir ein Barometer in den Ballon setzen, so würde dasselbe im gesättigten Dampfe von 10° die winzige Höhe von 9 mm, bei 20° 17 mm, bei 30° 31 mm und bei 100° genau 760 mm haben. Alle diese Zahlen bleiben nun weiter unverändert bestehen, wenn von vornherein Luft in dem Ballon war. Denn nach einem von Dalton aufgestellten Gesetze stören sich zwei in demselben Raume vorhandene Gase (hier also Wasserdampf und Luft) gegenseitig nicht. Nur

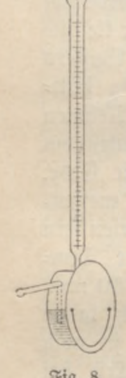
ist zu beachten, daß der Gesamtdruck jetzt gleich der Summe der Einzeldrucke wird. Lassen wir, um dies zu erläutern, den 20° warmen Innenraum des Ballons durch eine kleine Öffnung mit der Außenluft kommunizieren, so wird der Gesamtdruck innen und außen gleich und zwar so hoch, wie das Barometer außen zeigt, etwa gleich 760 mm. An dem Innendrucke beteiligt sich der Wasserdampf mit 17 mm, die übrigen 743 mm rühren von der Luft her, die in den Ballon getreten ist.

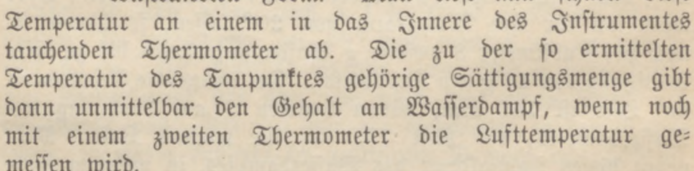
Was für den Ballon gilt, gilt aber auch für die freie Luft der Atmosphäre. Ist reichlich Wasser zur Verdampfung vorhanden, so nimmt die Atmosphäre soviel Wasserdampf auf, als ihrer Temperatur entspricht, fehlt es an Wasser, so bleibt die Luft ungesättigt und der in ihr enthaltene Wasserdampf ist überhitzter Dampf. Im ersteren Falle bringt auch die kleinste Abkühlung Kondensation also Niederschlag flüssigen Wassers hervor, im letzteren Falle kann eine gewisse Abkühlung stattfinden, ohne daß Nebelbildung oder Niederschlag erfolgt. Nehmen wir zur Erläuterung ein bestimmtes Beispiel. Ein Luftstrom senke sich aus den wasserarmen größeren Höhen auf die Erde, streiche über mäßig feuchtes Land und möge, bis er die messenden Apparate unserer Station erreicht, nur imstande gewesen sein pro Kubikmeter 9 g Wasserdampf aufzunehmen. Seine Temperatur werde zu 20° gemessen; das Barometer zeige 760 mm. Wir haben in diesem Falle Luft vor uns, welche noch lange nicht ganz mit Wasserdampf gesättigt ist. Wir können sie noch bedeutend abkühlen, ohne daß Niederschlag erfolgt. Erst bei 10°, dem sogenannten *Taupunkte*, würde dies eintreten. Oder wenn wir ihr ihre Temperatur von 20° lassen, so könnte sie noch pro Kubikmeter 8 weitere g Wasser aufnehmen bis zu ihrer Sättigung von 17 g pro Kubikmeter. Der ausgeübte Gesamtdruck der Luft ist 760 mm, davon kommen 9 auf Rechnung des Wasserdampfes, der Rest 751 auf die trockene Luft. Man nennt diesen Partialdruck des Wasserdampfes, in unserem Falle 9 mm, die *absolute* Feuchtigkeit und das Verhältnis dieses Druckes zu demjenigen, der bei derselben Temperatur im Falle der Sättigung vorhanden wäre, die *relative Feuchtigkeit* — in unserem Falle $\frac{9}{17}$ oder in Prozenten 53 % —. Denkt man sich in diese Verhältnisse etwas hinein, so erkennt man

leicht, daß man auf Grund der Lufttemperatur aus der relativen Feuchtigkeit die absolute und umgekehrt aus der absoluten die relative wird berechnen können. Es genügt daher zur genauen Ermittlung des Wasserdampfgehaltes der Luft, neben der Temperatur entweder die absolute oder die relative Feuchtigkeit zu messen.

Dementsprechend sind auch die Apparate für diese Messungen sehr verschieden. Sie werden bezw. als Hygrometer, Psychrometer, Hygroskop bezeichnet.

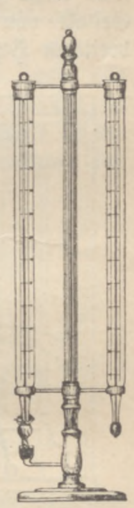
Dasjenige Verfahren, welches am unmittelbarsten, wenn auch nicht gerade am bequemsten zum Ziele führt, besteht darin, daß man mittels eines Aspirators die zu untersuchende Luft durch ein Glasrohr einsaugt, in welchem sich eine den Wasserdampf kräftig verschluckende Substanz wie Chlorkalzium, Schwefelsäure oder Phosphorsäureanhydrid befindet. Läßt man ein genau nach Litern oder Kubikmetern gemessenes Quantum Luft hindurchtreten, so ergibt die Gewichtszunahme des Trockenrohres unmittelbar, wie viel Gramm Wasser in 1 cbm enthalten war. Auf anderer Überlegung beruht das Daniellsche Hygrometer. Man kühlt eine Glaskugel, die außen einen schönspiegelnden Belag von Silber oder Gold hat, von innen ganz allmählich ab. In dem Augenblicke, wo die Temperatur derselben bis zum Taupunkte der umgebenden Luft gesunken ist, beschlägt der Spiegel. Die Fig. 8 gibt das Instrument in der neuen von Lambrecht konstruierten Form. Man liest nun schnell diese


Fig. 8.


Temperatur an einem in das Innere des Instrumentes tauchenden Thermometer ab. Die zu der so ermittelten Temperatur des Taupunktes gehörige Sättigungsmenge gibt dann unmittelbar den Gehalt an Wasserdampf, wenn noch mit einem zweiten Thermometer die Lufttemperatur gemessen wird.

An dem von meteorologischen Stationen vorzugsweise benutzten Psychrometer von August sehen wir zwei Thermometer (Fig. 9). Das eine, sogenannte trockene, gibt die Lufttemperatur. Das andere wird durch ein um die Kugel gewickeltes und in destilliertes Wasser geführtes Stück Musselin dauernd feucht gehalten. Wäre die umgebende Luft nun voll

mit Wasserdampf gesättigt, so würde von dem feuchten Zeuge kein Wasser verdunsten und es wäre kein Grund, weshalb die beiden Thermometer verschieden zeigen sollten. Man würde aus der Gleichheit der Ablesungen also schließen, daß die relative Feuchtigkeit 100% betrüge und daß die absolute dem Sättigungsgrade der Lufttemperatur entspräche. Wenn dagegen, was das Gewöhnliche ist, die Luft nicht gesättigt ist, so tritt Verdampfung an der feuchten Kugel ein. Verdampfung ist aber mit Abkühlung verbunden und somit sinkt das feuchte Thermometer. Wie weit wird es sinken? Daß es nicht ganz bis zum Taupunkt sinken kann, ist klar. Denn gesetzt den Fall, daß es sich bis zu diesem abkühle, müßte nun ja die Kondensation an der Thermometerkugel beginnen wie beim Daniell, die Verdampfung und mit ihr die abkühlende Ursache würde aufhören und das Thermometer müßte infolge der Berührung mit der wärmeren Luft wieder steigen. Daher ist klar, daß das feuchte Thermometer eine Temperatur zeigen muß, die zwischen der Lufttemperatur und dem Taupunkte derselben liegt. Der Unterschied beider Thermometer heißt die psychrometrische Differenz. Dieselbe ist offenbar um so größer, je geringer die relative Feuchtigkeit ist. Durch eine etwas verwickelte Rechnung, auf welche hier nicht eingegangen werden soll, kann man nun aus der psychrometrischen Differenz und der Temperatur des trockenen Thermometers die absolute und relative Feuchtigkeit berechnen. Bequeme, ein für allemal ausgerechnete Tabellen, die aus jedem meteorologischen oder physikalischen Handbuche zu entnehmen sind, ersparen diese Rechnung. Die Empfindlichkeit des Psychrometers ist eine sehr große und da man in jedem Moment, ohne länger wie bei den vorhin genannten Methoden experimentieren zu müssen, die Feuchtigkeit bestimmen kann, so eignet sich diese Methode auch zur Erkennung der im Laufe des Tages eintretenden Veränderungen vorzüglich. Dagegen kann diesem meist gebrauchten Instrumente der Vorwurf nicht erspart bleiben, daß die Sicherheit seiner absoluten Angaben merklich beeinträchtigt wird, wenn die an den Thermometern vorbeistreichende Luft zu lang-


Fig. 9.

sam oder vielleicht auch zu schnell vorüberfließt. Diesem Übelstande ist in neuerer Zeit dadurch wirksam abgeholfen, daß man auch für das feuchte Thermometer das oben bei der Luftwärmemessung beschriebene Aßmannsche Prinzip der künstlichen Luftaspiration in Anwendung bringt. Die so verbesserten Psychrometer scheinen nun in hohem Grade allen an dieselben zu stellenden Anforderungen zu genügen.

Von viel geringerem wissenschaftlichen Werte, aber ebenfalls leicht zu bedienen und im Momente ablesbar sind die in Gestalt von sog. Wetterhäuschen vielleicht am meisten verbreiteten Hygrometer. In denselben kommen gewisse Substanzen, welche in relativ feuchter Luft Wasser aufnehmen und in relativ trockener Luft Wasser abgeben, wie Haare, Darmsaiten, Fischbein und ähnliche organische Körper, die man hygroskopische nennt, zur Verwendung. Dieselben strecken sich, wenn sie feucht werden, und verkürzen sich wieder bei Trockenheit. Die Darmsaite in dem allbekannten Wetterhäuschen drillt sich dabei aus und auf und läßt so bald den Mann bald die Frau heraustreten. Saussure hat diesen Instrumenten eine zu genaueren Messungen bessere Form gegeben, wie in Fig. 10 dargestellt. Ein feines, seines natürlichen Fettgehaltes beraubtes blondes Menschenhaar ist oben im Instrument befestigt und läuft unten um eine Rolle, mit der ein Zeiger verbunden ist, so daß die Verlängerung des Haares deutlich sichtbar gemacht werden kann. Stellt man dies Instrument etwa unter einer Glocke in vollständig gesättigte Luft, so soll es 100 % relative Feuchtigkeit angeben, gleichgültig wie die Temperatur ist. Die weitere Einteilung der Skala nach Prozenten kann übrigens nur mit Hilfe eines der vorhin beschriebenen Hygrometer durch Ausprobieren gemacht werden.

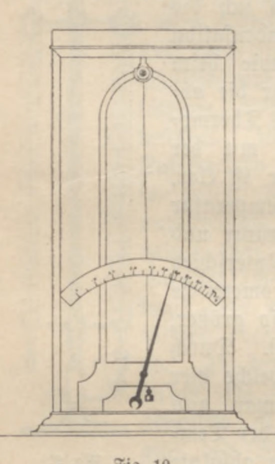


Fig. 10.

Die Ablesungen an den drei Instrumenten für Wärme, Druck und Dampfgehalt und mit ihnen die Kenntnis der

eigentlichen Beschaffenheit der Luft bilden den Hauptbestandteil einer meteorologischen Beobachtung und wir haben ihnen deswegen nebst den zugehörigen physikalischen Grundlagen ihrer Konstruktion und Wirkungsweise eine etwas größere Zeit gewidmet, zumal die für die sonstigen Beobachtungen erforderlichen Instrumente auf einfacheren physikalischen Voraussetzungen beruhen. Dahin gehört

5. die Windrichtung d. h. die Richtung, von woher der Wind weht.

Die abgekürzte Bezeichnung der Windrichtungen NW = Nordwest, NE = Nordost, nicht wie früher NO = Nordost usw. ist durch internationale Verständigung festgesetzt, da sonst das französische O = Ouest = West mit dem deutschen O = Ost zu Verwechselungen Anlaß gegeben hätte. Eine Windfahne zu beschreiben dürfte sich erübrigen. Nur sei es den Freunden der Wetterkunde empfohlen, sich mit ihren Nachbarn auf guten Fuß zu stellen und ihnen die Errichtung einer Wetterfahne ans Herz zu legen. Denn auf dem eigenen Hause nützt sie wenig. Daß die Fahne leicht laufen muß und sich daher entweder auf einer Spitze oder auf Kugellagern drehen muß, ist selbstverständlich.

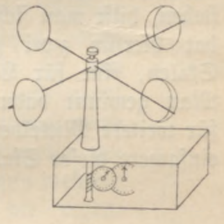


Fig. 11.

6. Die Messung der Windstärke geschieht durch Angabe der Windgeschwindigkeit nach Metern per Sekunde. Hierzu geeignete Instrumente sind die Robinsonschen Anemometer. Ein horizontal liegendes Kreuz mit vier wie in Fig. 11 angeordneten hohlen Halbkugeln dreht sich bei jeder beliebigen Richtung des Windes immer in dem gleichen Sinne, die konvexen Seiten der Kugeln voran. Man kann mit ziemlicher Annäherung annehmen, daß der Wind 2,2 mal so schnell weht als die Mittelpunkte der Kugeln laufen. Danach hat man nur nötig den in einer bestimmten Zeit z. B. einer Stunde von den Mitten der Kugeln zurückgelegten Weg zu berechnen. Es geschieht dies dadurch, daß man die vertikale Drehachse, auf welche das Kugelkreuz aufgesetzt ist, mit endloser Schraube versieht, die in ein Zählwerk eingreift. Die nach einer Stunde abgelesene Zahl der Umdrehungen mit dem Umfang des Kreises

der Kugelmitten und dann noch mit 2,2 multipliziert gibt dann die Geschwindigkeit des Windes pro Stunde. Statt der Zahl 2,2 lassen sich durch besondere Vorversuche übrigens noch etwas genauere jedem Instrumente eigentümliche Koeffizienten bestimmen.

Man bestimmt die Windstärke auch wohl mit Drucktafeln. Die letzteren hängen an einer horizontalen quer zur Windfahne an dieser befestigten Achse. Zunehmender Wind hebt die Tafel an einem Gradbogen mehr und mehr in die Höhe. Aus dem Winkel ist der Druck des Windes und aus diesem die Geschwindigkeit zu berechnen.

Während das Anemometer den durchschnittlichen Wert der Windgeschwindigkeit während der beobachteten Zeit angibt, entnimmt man den Drucktafeln die augenblickliche Geschwindigkeit.

Wo weder Anemometer noch Drucktafeln zur Verfügung stehen, hilft man sich durch Schätzung der Windstärke. Beaufort hat hierfür zwei zweckmäßige und allgemein angenommene Skalen, eine für Landbewohner, eine für Schiffer angegeben. Man gewinnt dadurch ziffernmäßige Angaben, die sich dann für weitere Mittelberechnungen verwerten lassen. Wir setzen die einfachere dieser Skalen hierher in der Mohnschen Formulierung.

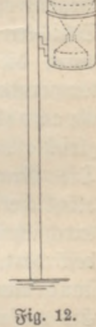
Landskala.

Windstärke 0—6	Geschwindigkeit des Windes m pro Sek.	Winddruck kg auf den qm	Beobachtete Wirkungen des Windes
0 = Stille	0— 0,5	0— 0,15	Der Rauch steigt fast gerade empor.
1 = schwach	0,5— 4	0,15— 1,87	Wimpel bewegen sich.
2 = mäßig	4 — 7	1,87— 5,96	Wimpel gestreckt, Baumblätter bewegen sich.
3 = frisch	7 —11	5,96—15,27	Zweige der Bäume,
4 = stark	11 —17	15,27—34,35	große Zweige u. schwächere Stämme,
5 = Sturm	17 —28	34,35—95,4	große Bäume bewegen sich.
6 = Orkan	über 28	über 95,4	Zerstörungen.

Die Seeskala geht von 0 bis 12 und wird teils nach der Fahrtgeschwindigkeit teils nach der Menge der noch zu führenden Segel geschätzt.

7. Die Bewölkung des Himmels trägt zur Kennzeichnung des Wetters so viel bei, daß man auch sie ziffernmäßig angibt, indem man abschätzt, wie viel Teile des in 10 gleiche Teile geteilten Himmelsgewölbes bewölkt sind, 0 bedeutet daher wolkenfreien Himmel, 10 ganz bedeckten.

Auch die Form der Wolken ist von Interesse. Seitdem Howard drei Grundformen cirrus, stratus, cumulus unterschied, haben sich diese Bezeichnungen und andere daraus gebildete Namen für die mannigfaltigen Übergangsformen eingebürgert. Mit cirrus (Feder) wird die gestreckte lineare Gestalt bezeichnet, die man vorzugsweise in den höchsten Luftschichten bemerkt. Diese Wolken bestehen aus Eisnadeln. Stratus (Schicht) bezeichnet die in größerer Fläche ohne besondere Dicke ausgebreitete Wolkenschicht, die in geringen, mittleren und großen Höhen liegen kann. Im letzteren Falle besteht sie wie der cirrus aus Eisnadeln und wird auch wohl Cirro-stratus genannt. Mit cumulus (Haufen) wird die nach drei Dimensionen ausgedehnte kugelig geballte Wolke bezeichnet. Ihr Durchmesser kann mehrere tausend Meter betragen. Nimbus ist die regenentsendende Wolke. Diese Grundformen kombinieren sich vielfach. Cirro-cumulus sind z. B. die in großer Höhe schwebenden zierlichen hellen Ballonwölkchen, die im Volksmunde Schäfchen heißen. Aus fractus (zerrissen) und altus (hoch) bildet man die Vorsilben z. B. Fracto-cumulus, womit ein im Zerfallen befindlicher cumulus gemeint wird, oder Alto-stratus, wodurch ein höher gelegener stratus von dem Cirro-stratus noch wieder unterschieden wird.


Fig. 12.

8. Die Messung der Niederschlagsmenge erfolgt durch Angabe derjenigen nach Zentimetern gemessenen Höhe, in welcher der gefallene Niederschlag die Erde bedecken würde. Man verwendet hierzu einen Regenmesser (Fig. 12), d. h. ein Gefäß, das oben eine genau nach Quadratzentimetern z. B. $^1/_{10}$ Quadratmeter = 1000 qcm ausgemessene Öffnung hat, und mißt die hiervon aufgefangene Regenmenge nach Kubik-

zentimetern. Findet man z. B. 1000 ccm = 1 l Regen darin, so würde dies auf 1000 qcm gleichmäßig ausgebreitet eine Regenhöhe von 1 cm ergeben. Damit der eingefangene Regen nicht wieder verdunstet, läßt man ihn in ein enghalsiges unteres Gefäß abfließen.

Ist Schnee gefallen, so schmilzt man ihn mit einer abgemessenen Menge heißen Wassers und zieht dies Quantum bei der Ausmessung wieder ab.

Welcher Art der Niederschlag ist, ob Regen, Schnee, Graupel, Hagel muß von meteorologischen Beobachtern gleichfalls notiert werden. Schnee bildet sich, wenn der Taupunkt der Luft unter Null liegt. Bei langsamer Abkühlung der Luft bis unter den Taupunkt kristallisiert der ausgeschiedene Wasserdampf dann zu den zierlichen sechsseitigen Gebilden des Schnees. Anders die Entstehung der Graupeln. In einer oberen Luftschicht, deren Taupunkt noch etwas über Null liegt, bilden sich Regentropfen; fallen diese durch untere kältere und wasserärmere Schichten, so erniedrigt sich die Temperatur der Tropfen teils durch die Verdunstungskälte, teils durch die niedrigere Lufttemperatur bis Gefrieren eintritt. Die Struktur der so gebildeten Graupeln, an welche sich noch mehr oder weniger kleine gleichfalls gefrierende andere Tröpfchen anlagern, ist eine körnige. Die Graupelkörner sind daher undurchsichtig und matt. Je plötzlicher das Gefrieren eintritt, desto feinkörniger und undurchsichtiger wird das Eis. Daher wird die Graupelbildung befördert, wenn die Tropfen den sogenannten unterkühlten Zustand annehmen und erst einige Grad unter Null plötzlich zu Eis zusammenschießen. Heftige Luftwirbel, wie sie bei Gewittern auftreten, können die einmal gebildeten Graupelkörner noch wieder in die Höhe reißen und durch Luftschichten führen, in denen unterkühlte sehr kleine Tröpfchen, also unterkühlter Nebel schwebt. Hierdurch überziehen sich die Graupelkörner mit Schichten glasklaren Eises, und so entstehen die bis zu gefährlichen Größen anwachsenden Hagelkörner oder Hagelsteine. Während Graupelfälle namentlich im Frühjahr und Herbste sehr häufig sind, kommen die berühmten Hagelfälle mit „tauben- oder hühnereigroßen" Schloßen glücklicherweise sehr selten vor. Wer ein solches Wetter erleben sollte, möge nicht versäumen, die größten Schloßen zu sammeln und ihr Gewicht zu bestimmen.

10. Als Beschlag bezeichnet man jene Ausscheidungen des Wasserdampfes, welche nicht in der freien Luft, sondern an den festen Körpern der Erdoberfläche erfolgen in Gestalt von Tau, Reif, Rauhfrost, Glatteis. Bei klarer Luft sendet die von der Sonne nicht mehr beschienene Erdoberfläche Wärmestrahlen in den kalten Weltraum. Flache, dünne und spitzige Körperchen der Erde, wie besonders die Grashalme, verlieren hierbei ihren geringen Wärmevorrat schnell und geraten unter die Temperatur des Taupunktes der über ihnen lagernden Luft. Liegt der letztere über Null, so erfolgt Ausscheidung des Wassers an den Grashalmen, also Taubildung. Ist der Taupunkt der Luft in der kälteren Jahreszeit unter Null, so lagert sich der kondensierte Wasserdampf in fester Form als Reif auf den Spitzen des Erdreichs ab. Glatteis bildet sich, wenn nach anhaltender Kälte der Erdboden unter Null abgekühlt ist und nun wärmeres Wetter mit wasserdampfreicherer Luft eintritt (Wetterumschlag). Dann gefriert das an dem Erdreich kondensierte Wasser zu Eis, jetzt aber vorzugsweise an den massigeren Teilen des Erdreichs, da diese sich der erwärmenden Wirkung der Luft und des Kondensationsprozesses gegenüber länger kalt erhalten, als die feinen Grashalme, an denen sich der Reif ansetzte. Anders wieder erklärt sich der Rauhreif, der zur Winterszeit unsere kahlen Gartensträuche und Wälder in zauberhaft schöne Landschaften verwandelt, jedes Zweiglein überzuckert, Zaun und Hecke mit Milliarden glitzernder Schneenadeln überzieht und selbst die öden Telegraphendrähte zu prächtigen Girlanden umformt. Dieses alle Welt entzückende Naturschauspiel tritt ein, wenn Baum und Strauch noch unter Null abgekühlt sind und nun von einem nebligen Luftstrom getroffen werden, der aus stark unterkühlten Wassertröpfchen besteht. An den Spitzen, auf die der Wind sie zutreibt, schießen diese Tröpfchen zu Schneekristallen aus, und jede Schneespitze bietet wieder neuen ankommenden Tröpfchen Anstoß und Stützpunkt für ihre Eiswerdung. Meterdick können unter günstigen Verhältnissen diese Ablagerungen werden, besonders in der staubfreien Luft der Berge, die die erforderliche Unterkühlung des Nebels begünstigt.

Auch die Notierung dieser verschiedenen Formen der Niederschläge und Beschläge gehört in das Beobachtungsjournal.

Damit haben wir die wichtigsten und grundlegenden Elemente der unmittelbaren Wetterbeobachtung überschaut, wie sie von tausenden meteorologischer Stationen an der Erdoberfläche täglich mehrmals angestellt werden. Was noch weiter an Instrumenten und außergewöhnlichen Beobachtungen gebraucht wird, und wie der unmittelbare Befund mit all seinen Instrumentablesungen zur Einsicht in den ursächlichen Zusammenhang der Wetterkunde führt, bleibe den folgenden Vorträgen vorbehalten.

II. Vortrag.

Drachen- und Ballonbeobachtungen.

Am 4. November (1902) erhielt der im Reichsanzeiger täglich erscheinende Wetterbericht des Berliner Wetterbureaus zum ersten Male einen bemerkenswerten Zusatz überschrieben: „Mitteilungen des Aeronautischen Observatoriums des Königlichen Meteorologischen Instituts, veröffentlicht vom Berliner Wetterbureau" und enthaltend die Angaben von Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung und Windstärke in verschiedenen Höhenstufen der Atmosphäre über Berlin. Es bezeichnet diese Tatsache einen sehr wichtigen neuen Abschnitt in der Wetterkunde. Denn hierdurch wird zum Ausdruck gebracht, daß die langjährigen Bemühungen, den Zustand der Luft in größeren Höhen zu beobachten und zwar möglichst regelmäßig, einen bedeutsamen Wendepunkt erreicht haben und daß die Ergebnisse dieser Beobachtungen nunmehr als wichtige regelmäßige Ergänzung der Beobachtungen an der Erdoberfläche ihren Platz in der Wetterkunde beanspruchen. Warum, so fragen wir uns zunächst, ist es denn überhaupt notwendig gewesen, diesem Ziele trotz unendlicher Mühen und Gefahren nachzujagen? Wäre es nicht völlig ausreichend gewesen, die Eigenschaften der Höhenluft bloß von hohen Türmen, dem Eiffelturm oder von Bergspitzen aus zu erforschen, die uns doch bis zu mehreren tausend Meter Höhe zugänglich sind? In der Tat haben die Meteorologen schon längst eine Anzahl wichtiger Höhenstationen eingerichtet, auf dem Rigi (1784 m), dem Obir (2043 m), dem Schafberg (1776 m), und andere in kleineren Höhen. Ihnen wurden seit dem Anfang der 70er Jahre auf Anregung der internationalen Meteorologen-Kongresse zahlreiche weitere hinzugefügt, von denen nur die wichtigsten genannt sein mögen. In

Deutschland: Zugspitze (2964 m), Schneekoppe (1603 m), Brocken (1142 m); in Österreich: Sonnblick (3096 m), in der Schweiz: Säntis (2500 m); in Frankreich: Pic du Midi (2859 m), Puy de Dôme (1463 m); in Schottland: Ben Nevis (1343 m); in Nordamerika: Pikes Peak (4300 m), Mount Washington (1916 m). Außer diesen Gipfelstationen wurden andere in halber Höhe gegründet. Was hier beobachtet wurde an meteorologischen Elementen, ist auch bereits von hohem Werte. So haben die Barometerablesungen auf Bergen das Gesetz bestätigt, nach welchem der Luftdruck mit zunehmender Höhe abnimmt. Theorie und Erfahrung sind im besten Einklange befunden. Der Luftdruck nimmt, wenn wir in die Höhe steigen, um soviel ab, wie das Gewicht der zurückgelegten Luftsäule im Verhältnis zum Quecksilbergewicht beträgt. Da die Luft bei 760 mm Druck ungefähr 10000 mal leichter als Quecksilber ist, so sinkt das Barometer, wenn wir uns 10 m = 10000 Millimeter über den Boden erheben, um 1 Millimeter. Die nächstfolgenden 10 m Luft stehen also schon unter kleinerem Druck, sind infolgedessen nach dem Gesetze von Boyle entsprechend dünner und leichter und das Barometer sinkt nun nicht voll so viel wie beim Aufstieg der ersten 10 m. Gehen wir so von 10 zu 10 m höher, so werden die Abnahmen des Barometers von Stufe zu Stufe immer kleiner oder, wie die Mathematiker dies ausdrücken, die Barometerablesungen nehmen in geometrischer Reihe ab, wenn die Höhen in arithmetischer Reihe wachsen. So entsprechen den über dem Meeresspiegel gerechneten

Höhen	0,	100,	200,	500,	1000,	2000,	5000,	10000 m,
die Barometerstände	760,	752,	742,	716,	673,	592,	407,	217 mm.

Diese aus dem Boyleschen Gesetz berechneten Zahlen sind durch die Barometerbeobachtungen auf Bergen durchaus bestätigt. Nebenbei sei darauf hingewiesen, daß man daher auch umgekehrt aus dem Stande des Barometers die Höhe über dem Meeresspiegel erschließen kann, wobei freilich, wenn Genauigkeit verlangt wird, auf den veränderlichen Barometerstand und die veränderliche Temperatur gehörig Rücksicht zu nehmen ist. Weiter haben die Bergbeobachtungen die starke Temperaturabnahme bei zunehmender Höhe erkennen lassen. Auch dies konnte auf Grund von Überlegungen, auf die wir noch zurück-

kommen, im allgemeinen vorhergesagt werden. Allein diese Temperaturabnahme mit der Höhe wird sehr wesentlich beeinflußt durch die Temperatur der Berge selbst. Während der Luftdruck auf einer Bergstation von 1000 m Höhe genau ebenso groß ist, wie in einem 1000 m frei über der Ebene gelegenen Punkte, verhält sich die Temperatur an beiden Stellen prinzipiell verschieden. Was wir auf dem Berge messen, ist Luft, die schon vorher in nächster Nachbarschaft mit dem Erdreiche gewesen ist und so durch Berührung von allen Wärmeeinflüssen mit betroffen wird, welche die gerade vorhandene oder nicht vorhandene Sonnenstrahlung, sowie die Temperatur des betreffenden Erdreichs auf sie ausüben mußten. Hingegen wird die Temperatur hoch oben in der freien Atmosphäre in ganz anderer und einfacherer Weise durch die Höhe bedingt und nur durch die Winde der oberen Schichten, durch aufsteigende oder sich senkende Luftströmungen abgeändert werden. Gerade die Erforschung dieser freien, von keinem Bergesrücken vorgewärmten Luft mußte von vornherein als höchst bedeutungsvoll für die Wetterkunde erscheinen. Ebenso ist es mit der Luftfeuchtigkeit. Nach welchen allgemeinen Gesetzen nimmt sie in der freien Atmosphäre nach oben hin ab, welche Abweichungen von dem Durchschnittswerte kommen vor, und was bedeuten sie für das Wetter und seine Änderungen? Antwort darauf können wir nur erhalten, wenn wir mit Thermometer und Psychrometer in die Luft hineingehen. Und so erwachten die Gelüste des Ikarus, dem Vogel gleich die Luft zu durchfliegen, vor reichlich 100 Jahren wieder aufs neue, diesmal geschwellt von dem Triebe der exakteren Forschung und getragen durch die Erfindung des Luftballons nicht minder wie durch den kühnen Versuch Benjamin Franklins, mit dem Drachen experimentierend in die Luft vorzudringen.

Seitdem die Gebrüder Montgolfier 1783 einen Luftballon mittels erwärmter Luft zum Steigen gebracht hatten und Charles noch in demselben Jahre statt des gefährlichen, unterhalb des Ballons brennenden Feuers die Füllung mit dem Wasserstoffgase, das leichter als jedes andere Gas und 14 mal leichter als Luft ist, mit Erfolg durchgeführt hatte, haben Hunderte und Tausende kühner Luftschiffer ihr Leben der schwanken Gondel des Ballons anvertraut. Viele haben die Unvollkommenheit ihrer Einrichtungen, die Sorglosigkeit ihrer Opera-

tionen oder die Tücke unvorherzusehenden Wetters mit ihrem Leben bezahlen müssen, andere wagten sich hinauf, nur gereizt von dem Sport und dem unvergleichlichen Genuß, den der weite Blick über Meer und Land oder die erhabene Ruhe der Einsamkeit hoch über den Wolken zu bieten hatte, noch andere stiegen auf ganz im Dienste der Forschung, der Gefahren nicht achtend, die Hand am Ventil und das Auge auf die Instrumente gerichtet. So kamen, um nur die wissenschaftlich wichtigeren Aufstiege zu nennen, reich mit Beobachtungsmaterial beladen glücklich zurück am 18. Juni 1803 Lhoest und Robertson in Belgien, am 16. September 1804 Gay Lussac in Paris, am 24. September desselben Jahres nochmals derselbe berühmte Physiker zusammen mit Biot, am 16. September 1806 Jungius, am 26. Juli 1850 Barral und Bixio, am 10. November 1852 Welsh, der zusammen mit Glaisher zahlreiche glückliche Fahrten in den 50er Jahren machte, am 15. April 1875 Tissandier, Crocé, Spinelli und Sinel, endlich Berson am 4. Dezember 1894. Die hierbei erreichten Höhen überstiegen 4000 m und gingen bis zu der Grenze, wo der menschliche Organismus teils der furchtbaren Kälte, teils dem geringen Luftdruck erliegen muß und nur durch künstliche Sauerstoffatmung noch lebend erhalten werden kann. Die von Glaisher und Coxwell am 5. September 1862 erreichte Höhe galt als das Äußerste, ist freilich mit 10000 m vielleicht überschätzt worden, während Bersons genannte Fahrt nach den sicheren Angaben seines Registrierbarometers den schon halb bewußtlosen einsamen Forscher auf 9150 m gebracht hat.

Die letzterwähnte Fahrt, welcher kaum eine andere bisher an Kunst und Kühnheit gleichkommt, fällt bereits in die mit dem Jahre 1888 begonnene neue Periode der Luftschiffahrt. In diesem Jahre wurde der deutsche Verein zur Förderung der Luftschiffahrt gegründet, an dessen Spitze der bekannte Meteorologe Geheimrat Dr. Aßmann, Dr. Berson und Hauptmann Groß von der Luftschifferabteilung standen. 75 Aufstiege sind allein von diesem Vereine in den 90er Jahren zustande gebracht, an denen neben andern verdienten Forschern besonders die Herren Baschin, Börnstein, Kremser, Stade, Süring, Linke und der auf so traurige Weise seinem Wagemute zum Opfer gefallene Hauptmann v. Sigsfeld teilnahmen. Zugleich entwickelte sich in Verfolgung militärischer Aufgaben

die Luftschifferabteilung immer mächtiger, die hier gewonnenen reichen Erfahrungen kamen den Meteorologen zu statten und ein wechselseitiger Austausch von Ratschlägen, von Instrumenten und von persönlicher Hilfe förderte die beiderseitigen Interessen. So konnte, begünstigt durch das besondere Interesse des Landesherrn und seiner Regierung, gegen das Ende des Jahrhunderts daran gegangen werden, ein ständiges Observatorium für die meteorologische Erforschung der Atmosphäre in der hilfsbereiten Nachbarschaft der inzwischen nach dem Norden Berlins übersiedelten Luftschifferabteilung einzurichten.

Eingeschlossen in diese Bestrebungen war die ausgiebige eventuell vorherrschende Ausbildung der Drachentechnik und eines Mitteldinges zwischen Drachen und Ballon, des Drachenballons.

Den Ruhm, zuerst das Spielzeug des Drachens in den Dienst der Forschung gestellt zu haben, hat streng genommen nicht Franklin, sondern der englische Astronom Alex. Wilson, der 1749 den Versuch machte, ein Thermometer mit Hilfe von Drachen in die Höhe zu bringen. Den Franklinschen Versuchen (1752) gab die ins Spiel tretende Gewitterelektrizität die größere Berühmtheit. Seitdem ist der Drachen nur in ganz vereinzelten Fällen für meteorologische oder elektrische Beobachtungen anzuwenden gesucht, ohne daß wissenschaftliche Ergebnisse zu verzeichnen gewesen wären. Erst 1883 griff Archibald Douglas dieses Hilfsmittel wieder auf, um Anemometer bis 200 m in die Luft heben zu lassen. Ich selbst habe von 1886 an in Breslau eine Reihe von Drachen- und Ballonaufstiegen an dünner 1000 m langer Stahlleine gemacht und das damals eben bekannt gewordene Exnersche Grundgesetz der sogenannten Schönwetterelektrizität für die damals erreichbaren Höhen bestätigen können. Die Form des Drachens war die herkömmliche, in der Kindheit erlernte, der halbrunde Bügel, die lange Mittelleiste, der Schwanz. Nur die Schnur, eine besondere Drachenwinde, die Kuppelung mehrerer Drachen und einige weitere Hilfsteile wiesen eine größere Vollkommenheit auf, als sie den Knaben zu Gebote zu stehen pflegt.

Die mannigfachen Fährnisse solcher Drachenexperimente sind allbekannt, viel Zeit und Geduld gehört auch dazu, und diese gewöhnlichen Spielzeugdrachen erwiesen sich als ein recht unvollkommenes Hilfsmittel. Das hat sich nun seit 1894

außerordentlich geändert. In diesem Jahre wurde in dem unter Leitung von Rotch stehenden Observatorium auf dem Blue Hill bei Boston eine neue schwanzlose Drachenkonstruktion ersonnen, die zu dem Eddy- oder Malaydrachen führte. Noch im Sommer 1894 konnte ein Registrierapparat mit Hilfe von 5 Eddydrachen 436 m hoch gebracht werden. Bald trat eine andere, vollkommen von der bisherigen Bauart abweichende, im Aprilheft des American Engineer 1895 beschriebene Form, der Hargrave- oder Kastendrachen hinzu, der deswegen so schnelles Aufsehen erregte, weil man es seiner kastenähnlichen Gestalt auf den ersten Blick nicht zutraut, so ausgezeichnet zu steigen. In Amerika widmen sich Prof. Marvin, die Herren Mc Adie und Potter den Drachenversuchen, immer größere Höhen werden erreicht bis 5000 m. In Frankreich richtet Herr Teisserenc de Bort auf seinem Privatlaboratorium in Trappes Drachenversuche mit ausgezeichnetem Erfolg ein, das russische Zentralobservatorium in Paulowsk folgte mit zum Teil neuen Konstruktionen, ebenso die deutsche Seewarte, die unter Prof. Köppens Leitung eine Drachenstation im Norden Hamburgs errichtete. 1898 waren in Nordamerika nicht weniger als 16 vom Wetterbüreau organisierte Stationen mit Kitefarms ausgerüstet.

Inzwischen war eine von Archibald Douglas ausgegangene Idee, den Drachen mit dem Ballon zu verbinden, durch die Herren v. Parseval und Hauptmann v. Sigsfeld weiter ausgebildet worden. Der Drachenballon war auch bei Windstille durch die unteren Regionen hochzubringen und entwickelte bedeutende Tragkräfte für die mitzunehmenden Instrumente.

Dem Ziele, nicht bloß vereinzelte Beobachtungen in der Höhe, gewissermaßen nur Stichproben zu machen, sondern regelmäßig Tag für Tag von der Temperatur, der Feuchtigkeit und den Luftverhältnissen der höheren Luftschichten Kunde zu erhalten, war man somit durch Freiballons, die wieder in bemannte und unbemannte, bloße Registrierballons zerfielen, durch Fesselballons, durch Drachenballons und durch Drachen in bedeutungsvoller Weise näher gekommen. Die heute eingangs erwähnte Publikation im Reichsanzeiger erscheint daher wie ein Markstein, der die Zeit der vorbereitenden Versuche abschließt und eine neue Periode beginnt, an welche die Wetterkunde weitgehende Hoffnungen knüpft.

Nach diesem kurzen geschichtlichen Überblick über die Entwicklung des neuesten Zweiges der Wetterkunde wenden wir uns zu der Erläuterung der hauptsächlichsten dabei in Betracht kommenden Gesichtspunkte, und sehen uns zunächst die aeronautischen Hilfsmittel an, oder um deutsch zu sprechen,

Die Fahrzeuge der Luftschiffahrt.

1. Die bemannten Freiballons. Es möge hier abgesehen werden von allen Besonderheiten der Konstruktion und verwickelten Mechanismen, welche man dem Ballon zu geben versucht hat in der Absicht, das Problem eines lenkbaren Luftschiffes zu lösen. Die zahlreichen Bemühungen in diesem Sinne, von denen wir Jahr für Jahr in den Zeitungen lesen, haben einen größeren allgemein brauchbaren Erfolg bisher nicht gehabt und sind daher auch für die Zwecke der Wetterkunde zunächst ohne Belang, zumal die Schwierigkeiten bei größeren Höhen noch erheblich wachsen würden. Man beschränkt sich also für die Hochfahrten auf die hergebrachte einfache Konstruktion des kugelförmigen Ballons, sucht nach dem besten gummierten Seidenzeug seiner Hülle, sicher arbeitenden Ventilen, leichtem und zugleich starkem Netzwerk und ebensolcher Gondel, und füllt mit Wasserstoff. Die Leistungsfähigkeit eines Ballons ergibt sich nach dem Gesetz von Archimedes, wonach ein in einer Flüssigkeit oder auch in der Luft schwebender Körper von seinem Gewicht soviel verliert, als das von ihm verdrängte Flüssigkeits- bezw. Luftquantum wiegt. Schwebendes Gleichgewicht ist also vorhanden, wenn das Gewicht des Ballonkörpers und des von ihm eingeschlossenen Gases gerade dem Gewicht der verdrängten Luft gleichkommt. Ein Ballon, der beispielsweise 1000 cbm groß ist, muß, um im Gleichgewicht zu sein, das Gewicht von $1000 \times 1{,}29 = 1290$ kg haben, da 1 cbm Luft 1,29 kg wiegt. Nun wiegen die 1000 cbm Wasserstoff, die den Ballon mittels ihrer Spannkraft aufblähen, 89 kg. Es bleiben daher 1201 kg für das Gewicht der Ballonhülle, der Gondel mit allen ihren Apparaten, der Personen und des Ballastes übrig. Praktisch rechnet man wegen der unvermeidlichen Luftbeimengung zum Wasserstoff nur eine Tragkraft von 1100 kg oder 90 cbm Wasserstoff auf eine Tragkraft von 100 kg. Eine solche Tragkraft ist schon recht ansehnlich. Der Durchmesser eines solchen

Ballons von 1000 cbm würde 12,6 m betragen. Füllt man nicht mit Wasserstoff, sondern mit dem billigeren Leuchtgas, so würden bei demselben Ballon bereits 522 kg auf das Gewicht des Gases kommen und nur eine Tragkraft von 768 kg für die festen Teile übrig bleiben. Zum Heben von 100 kg sind also etwa 130 cbm Leuchtgas nötig. Der größte in Deutschland gebaute Ballon „Preußen" hatte die enorme Größe von 8400 cbm.

Ohne auf die vielen Einzelüberlegungen einzugehen, die bei einer Ballonfahrt nötig sind, möge wenigstens noch darauf hingewiesen sein, daß der gegebene Rauminhalt des Ballons keineswegs ganz für die oben berechnete Tragkraft zugrunde zu legen ist. Denn nur sehr teilweise gefüllt darf der Ballon werden, wenn größere Höhen erstrebt werden. Beim Aufstieg muß sich im Verhältnis des abnehmenden Luftdruckes das eingeschlossene Gas ausdehnen können, wenn kein Platzen des allmählich sich straff blähenden Ballons eintreten soll. Durch die Vermehrung des Volumens tritt ein Gewinn an Tragkraft nicht ein, da in demselben Maße die umgebende Luft leichter wird und an Auftrieb verliert. Außerdem ist mit einem beständigen nicht unbeträchtlichen Gasverlust durch die Hülle hindurch zu rechnen und es muß von vornherein ein gewisser Überschuß an Tragkraft vorhanden sein, um nicht zu langsam aufzusteigen. Das einzige Mittel des Luftschiffers, auf die Fahrtrichtung einzuwirken, besteht in dem Aufsuchen der in verschiedenen Höhen verschieden gerichteten Luftströmungen, wenn solche vorhanden sind. Da mit jedem Heben ein Verlust von Ballast, mit jedem Sinken ein Verlust von Gas verbunden ist, so können diese Experimente nicht allzuhäufig wiederholt werden. So bleibt die Fahrt in der Hauptsache ein Spiel des herrschenden Windes, sie kann wohl nach Belieben abgekürzt aber nicht beliebig verlängert werden.

Die Mitnahme von Instrumenten macht im übrigen keine Schwierigkeit, da für die wenigen Kilogramme dieser stets Tragkraft genug übrig ist. Auch die feinere Ablesung derselben ist bei dem ruhigen Schweben des Ballons vorzüglich gut zu machen. Immerhin nimmt man auch hier selbstaufschreibende Barometer und Thermometer mit, teils um den Beobachter von seinen mancherlei Obliegenheiten zu entlasten, teils um für die kritischen Momente der Fahrt, in denen Störungen des

Wohlbefindens, vielleicht sogar Bewußtlosigkeit eintritt, sicher verbürgte Angaben nach Hause bringen zu können.

Was aber gegen früher gewonnen ist, ist die zuverlässigere Messung der Temperatur und Feuchtigkeit. In der stillen, gegen die Sonnenstrahlen völlig ungeschützten Luft des Ballonkorbes sind die Temperaturmessungen, wie sie von Glaisher und Welsh ausgeführt wurden, schwerwiegenden Zweifeln ausgesetzt gewesen. Das ist durch Anwendung des Aßmannschen Aspirationsthermometers mit einem Schlage anders geworden.

Mühe und Kosten, solche freie Ballonfahrt vorzubereiten, sind aber doch so beträchtlich, daß ihre Verwirklichung immer ein besonderes Ereignis ist und nicht jeden Tag erfolgen kann, und die Ergebnisse der so gewonnenen Beobachtungen werden noch lange nicht über den Wert einzelner Stichproben hinausgehen.

2. Die unbemannten Registrierballons auch ballons-sondes genannt, sind kleine, 1—50 cbm große Ballons. Ihre Bestimmung ist, selbstaufschreibende Instrumente in glattem Aufstieg durch alle Schichten der Atmosphäre bis zu möglichst großen Höhen hinaufzubringen, sodann sich sanft auf die Erde zu senken, wo nun die gegen Stöße gesicherten Apparate mit ihren Notierungen aufgefunden, und, wie man hofft, von gefälligen Findern zur absendenden Station zurückgesandt werden. Diesem besonderen Zwecke muß die Konstruktion angepaßt werden. Zunächst ist dem oben genannten Umstande Rechnung zu tragen, daß das eingeschlossene Gas beim Höhersteigen einen Überdruck gegen die äußere Luft erhält. Wollte man den Ballon nur halb gefüllt aufsteigen lassen, so würde zwar Platz für das sich ausdehnende Gas geschaffen, allein ein so schlaffer Ballon ist dem Zerreißen sehr ausgesetzt, so lange er beim Ablassen noch im Winde gehalten wird. Füllt man ihn dagegen ganz, so vermindert sich beim Steigen der Auftrieb, da die äußere Luft leichter und leichter wird, während das Gas unverändert bleibt. Man muß also in diesem Falle auf andere Weise den Auftrieb wieder zu vergrößern suchen, was durch sogenannten „ausfließenden Ballast", z. B. in Gestalt ausfließenden trockenen Sandes erreicht werden kann. Dies hat aber eine Vermehrung des Anfangsgewichtes und damit eine Vermehrung der gesamten Größe des Ballons und seiner Kosten zur Folge. Zur Beseitigung dieses Übelstandes wird entweder

die beim Drachenballon zu besprechende Methode des Ballonets oder die von Aßmann ausgebildete Methode der elastischen Ballons benutzt. Nach letzterer nimmt man ganz geschlossene, aus feinstem Paragummi hergestellte Ballons. Machen wir uns das Verhalten derselben an einem Beispiel klar. Der Inhalt eines Ballons (von nahezu 2 m Durchmesser) sei genau 4 cbm. Die Füllung sei Wasserstoff. Dann ist die Tragkraft nach dem, was wir oben berechneten, etwa 4,4 kg. Das Gewicht des eigentlichen Gummiballons kann auf 1,8 kg angenommen werden. Zum Aufhängen der Apparate, die nicht wohl direkt am Gummizeuge hängen können, muß der Ballon von einem Netze eingehüllt werden, mit dem zugleich eine Fallschirmvorrichtung verbunden ist. Rechnen wir für beides 0,8 kg, für die Apparate auch 0,8 kg, so macht dies zusammen 3,4 kg und es bleibt als disponibler Auftrieb noch 1 kg übrig, der den Ballon mit einer Geschwindigkeit von etwa 1 m in der Sekunde aufwärts treibt. Nach $1\frac{1}{2}$ Stunden ist die Höhe von 5400 m erreicht. Der Luftdruck ist hier bereits auf die Hälfte gesunken, das Volumen des Ballons hat sich infolge dessen auf das Doppelte vermehrt. Der Auftrieb bleibt derselbe. Denn das verdrängte Luftquantum ist zwar doppelt so groß, aber die Luft ist halb so schwer. Gewicht von Ballon und Gas sind dieselben geblieben. Der Ballon steige weiter etwa bis zu einer Höhe von 15000 m. Hier zeigt das Barometer nur noch 95 mm, der Luftdruck ist auf $\frac{1}{8}$ des gewöhnlichen herabgegangen. Das Volumen des Ballons ist demnach das achtfache des ursprünglichen, er faßt jetzt 32 cbm, sein Durchmesser ist dementsprechend aber nur auf das Doppelte, auf 4 m gewachsen. Soll das elastische Zeug dies hergeben, so bedeutet das offenbar soviel, daß sich jede Länge des Zeuges auf das Doppelte ausgedehnt hat. Das ist eine Leistung, die von gutem Gummi erfüllt werden kann, ohne daß ein vorzeitiges Zerreißen zu befürchten ist. Würden wir nun den Ballon ungestört sich selber überlassen, so würde er weiter steigen und schließlich unfehlbar platzen oder aber, er würde durch die allmählich gesteigerte Ausspannung seiner an sich schon sehr dünnen Hülle bereits in mäßigen Höhen andauernd Gas verloren haben, immer langsamer gestiegen sein und schließlich, ohne die kritische, sein Platzen bedingende Höhe zu erreichen, stundenlang in derselben Höhe weiterschweben und so

allmählich sinken, daß seine Reise über weite Länderstrecken gehen würde. Zugleich wäre es für die Betätigung der selbstaufschreibenden Apparate höchst unbequem und verwirrend, wenn dieselbe Höhe längere Zeit innegehalten würde. Daher unterbricht man den Aufstieg durch ein selbsttätig sich öffnendes Ventil, welches entweder auf Zeit gestellt ist, oder bei bestimmter Ausdehnung des Ballons sich öffnet. Zugleich rettet man damit den Ballon vor dem Zerreißen. Nun beginnt zunächst ein schnelles Fallen, aber der Fallschirm im oberen Teile des Netzes hemmt bald den schnellen Absturz und läßt die in zweckmäßigem Schutzkorb verpackten Apparate heil am Erdboden ankommen. Plakate am Korb unterrichten in mehreren Sprachen den Finder des Ballons von seinem Zweck und versprechen eine Belohnung, falls die Apparate der Anweisung entsprechend zum Observatorium zurückgesandt werden.

Die Registrierballons haben den bemannten Ballons gegenüber zunächst den bedeutenden Vorteil, daß sie nach Bedarf täglich bei jedem Wetter aufgelassen werden können. Der Erfolg hängt freilich von der Voraussetzung ab, daß der niederfallende Ballon aufgefunden wird. Gut organisierte telephonische Verständigungen benachbarter Stationen können in dieser Beziehung wirksam nachhelfen. Der zweite wesentliche Vorteil liegt in der Erreichung der größten Höhen der Atmosphäre. In dieser Beziehung sind die Registrierballons auch den Drachen weit überlegen. Nicht zu unterschätzen ist auch, daß die Kosten eines Aufstieges selbst dann nicht beträchtlich sind, wenn der Ballon zerreißen sollte. Aßmann berechnet die Kosten für einen Ballon von 1 m Durchmesser zu 25 Mk. (Gummiballon 15,00; Fallschirmnetz 1,00; 1,5 cbm Wasserstoff 0,50; Belohnung für Auffinden, Telegramme usw. 8,50 Mk.) 365 Aufstiege kosten daher jährlich 9125 Mk., wobei noch die wiederholte Benutzung von Fallschirmen eventuell auch Gummiballons als Ersparnis abgezogen werden kann. Der Verlust der Apparate freilich, mit dem auch stark gerechnet werden muß, erhöht diese Kosten bedeutend, da die Ausrüstung mit einem Registrierapparat nicht unter 250 Mk. zu beschaffen sein wird. Nichtsdestoweniger sind diese Kosten in Anbetracht des damit Erreichten sehr klein gegenüber den bedeutenden Kosten der bemannten Ballons sowohl als auch des Drachenbetriebes. Auf der andern Seite ist den Registrierballons der Nachteil zu

eigen, daß die Hauptsache, nämlich die Instrumentaufzeichnungen, weniger leicht vor Fehlern zu schützen sind und schon durch die auf die äußerste Leichtigkeit zugespitzte Bauart der Apparate beeinträchtigt werden. Insbesondere muß für die Thermometer die Sonnenstrahlung weggeschafft, bezw. durch das Aspirationsprinzip umgangen werden. Dies bedingt wieder, die Dauer des Aufstieges durch vermehrten bis zu 4 m pro Sekunde gehenden Auftrieb abzukürzen. Noch schnelleres Aufsteigen würde wieder zur Folge haben, daß die Thermometer, welche doch eine gewisse Zeit zur Einstellung nötig haben, dem Wechsel der Temperatur nicht schnell genug folgen könnten. Die Aufzeichnung von Windrichtung und Stärke fällt bei den Registrierballons überhaupt aus und kann nur aus der gesamten Fahrstrecke annähernd erschlossen werden. So ist auch hier manches zu bedenken und absolute Vollkommenheit ein ferneres Ziel.

3. Die Drachen beanspruchen unser ganz besonderes Interesse teils durch die neuen überraschenden Formen, welche dies uralte, von Generation zu Generation fast unverändert überkommene Spielzeug angenommen hat, teils durch die geniale Technik, die im einzelnen den verschiedenen Hilfseinrichtungen gegeben werden mußte, teils endlich durch die bereits errungenen Erfolge, sowie die für die weitere Zukunft in Aussicht gestellten Leistungen. Wie sehr der Drachenbau seinen früheren, durch keinerlei eindringende physikalische Theorie, sondern nur durch knabenhafte naive Überlieferung gebildeten Charakter aufgegeben hat und mit wissenschaftlichem Ernst studiert wird, zeigt ein Blick auf die bereits entstandene ansehnliche Literatur. Mehr als 100 Schriften werden in einem Literaturverzeichnis im Jahrbuche des belgischen Observatoriums für 1900 über Drachenbau und die Erforschung der höheren Luftschichten aufgezählt. Genannt seien hier nur die Abhandlungen von Fergusson und Clayton in den Annalen des Astronomischen Observatoriums in Harward-College 1897; zahlreiche Mitteilungen von A. Lawrence Rotch, dem Direktor des Blue Hill Observatoriums bei Boston in amerikanischen (Science), englischen (Nature, Quaterly Journal of the Royal Meteor. Soc.) und deutschen (Aeronautische Mitteilungen) Zeitschriften, ferner die Studien von Prof. Marvin in Amerika (Amerik. Zeitschr. Monthly Weather Review 1896—1899) über das mechanische

Gleichgewicht des Drachens, sodann Schriften von B. Baden-Powell (Aeronautical Journal), die originellen Mitteilungen von Lawrence Hargrave in Journal and Proceedings of the Royal Society of New South Wales 1893—1897, endlich verschiedene Mitteilungen von Aßmann, Berson in Berlin und Köppen in Hamburg, sowie die großen zusammenfassenden Schriften der Letztgenannten:

Ergebnisse der Arbeiten am Aeronautischen Observatorium in den Jahren 1900 und 1901 von Rich. Aßmann und Arthur Berson (Veröffentlich. des Preuß. Met. Inst 1902) und

Bericht über die Erforschung der freien Atmosphäre mit Hilfe von Drachen von Prof. W. Köppen. Hamburg 1902.

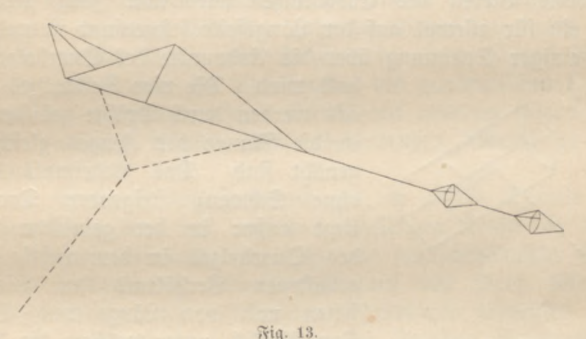


Fig. 13.

Sehen wir uns zunächst die verschiedenen Formen der neuen Drachen an. Am wenigsten weicht von der herkömmlichen Form der Eddy- oder Malaydrachen ab. Durch die liebenswürdige Vermittlung des Herrn Prof. Köppen bin ich in der Lage hier einen solchen Drachen zu zeigen, einen ausgezeichneten Flieger, den ich bereits wiederholt für Versuche in kleineren Höhen benutzt habe (Fig. 13). Das Gerüst des Drachens besteht aus einer mit Bambus versteiften Längsleiste und einer in der Mitte geknickten Querleiste, deren beide Hälften des besseren Transportes wegen leicht herauszuziehen sind. Sie finden ihren Halt und die Sicherung ihrer geknickten Stellung durch ein dreieckiges mit der Längsleiste verbundenes Brett. Die vier Enden des Kreuzes bilden somit ein symmetrisches Viereck (Kreuz- oder Drachenviereck), dessen

Diagonalen zwar aufeinander senkrecht sind, jedoch in verschiedenen Ebenen liegen. Nach Aßmanns Vorschlag denkt man sich zwecks einer unzweideutigen Beschreibung den Drachen so nach vorn umgelegt, daß die eigentlich vom Wind getroffene Fläche horizontal nach unten liegt. Diese Stellung wird von der Windseite, also vom Standpunkt des Beobachters aus betrachtet. Dann ist vorn die sogenannte Schnauze des Drachens, hinten der frühere Schwanz. In der Längsrichtung liegt die vorhin genannte Längsleiste, in der Breite die geknickten Querhölzer. In „Höhe" verschieden sind dann die beiden Vierecksdiagonalen, von denen die Längsleiste „unten" liegt. Erst beim Kastendrachen spielt die „Höhe" eine größere Rolle. Über das geschilderte Viereck des Eddydrachen wird nun Zeug gespannt, das ein für allemal auf der Längsseite festgepinnt ist und nur mit einiger Spannung über die Endpunkte des Querholzes gehakt wird. Die vier Seiten des Vierecks werden durch Drähte gebildet, die in die Säume des Zeuges gleich eingenäht sind. Das Geheimnis dieses ohne Schwanz steigenden Drachens liegt außer in der geknickten Form des Querholzes in dem richtig innegehaltenen Verhältnis der Vierecksseiten und von Länge und Breite. Der Winkel, unter welchem die beiden Hälften des Querholzes in der Mitte aneinander stoßen und daher auch der Winkel des Stützbrettes beträgt 154°; das letztere wird auf $^1/_5$ der Längsleiste angesetzt. Breite ist gleich Länge. Das Zeug liegt natürlich auf der unteren (Windseite) am Kreuz.

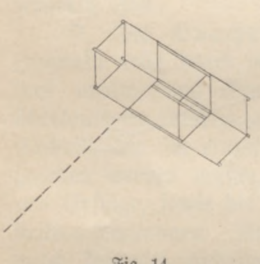


Fig. 14.

Vollständig abweichend von den übrigen ist der Hargravedrachen. Derselbe besteht, wie Fig. 14 zeigt, aus zwei kastenförmigen, mit Zeug überspannten Zellen, denen Deckel und Boden fehlt und welche an demselben Gestänge hintereinander (nach der vorhin festgesetzten Bezeichnungsweise) liegen. Die Länge der einzelnen Kasten ist $^1/_3$ der gesamten Länge.

Diese ursprüngliche selbst wieder aus vielen Abänderungen herausprobierte Form Hargraves hat nun von andern Seiten vielfache Änderungen erfahren, die beinahe alle möglichen Übergänge zwischen der Hargrave- und der Eddyform aufweisen.

Es mag genügen, hier den in tausenden von Exemplaren verbreiteten, nun wieder zum Knabenspielzeug gewordenen Hargravedrachen in seiner denkbar einfachsten Ausführung vorzulegen. Er besteht (Fig 14) aus vier Längsleisten, um die vorn und hinten je ein Zeugstreifen gelegt ist. Zwei Diagonalleisten, die in jeden Kasten hineingesetzt werden, spreizen den Doppelkasten zu einem Prisma von quadratischem Querschnitt. Die Fesselung geschieht an einer der vier Längsleisten an einem Punkte, der auf $^1/_3$ der Länge liegt. Diese einfachste Form, die zugleich äußerst leicht transportiert werden kann, scheint nach einer mir von Herrn Professor Köppen gemachten Mitteilung noch dadurch an Wert zu gewinnen, daß man mehrere solcher Drachen nebeneinander koppeln kann, indem man einfach die aneinander stoßenden Eckleisten zusammenbindet und durch eine mehrfach geteilte Bucht alle Drachen in einer Zickzack-Front zusammenhält. Auch die Abänderung des quadratischen Querschnittes in ein symmetrisches Viereck mit unterem spitzen und oberem stumpfen Winkel scheint bedeutenden Vorteil zu gewähren.

Die Mechanik des Drachenfluges, d. h. die Theorie des Gleichgewichtes der auf denselben wirkenden Kräfte ist nicht gerade einfach und auch noch nicht mit wünschenswerter Vollkommenheit entwickelt, obwohl besonders von Prof. Marvin und Prof. Köppen die wertvollsten Grundlagen geschaffen sind. Eines ist leicht einzusehen, woher der Drachen überhaupt in der Höhe gehalten wird, woher er also die seine Schwere überwindende Hubkraft gewinnt. In der Fig. 15 (s. S. 47) sei ab die von der Seite gesehene Tragfläche des Drachen. Der Wind komme von links in horizontaler Richtung, wie der fliegende Pfeil andeutet. Dann ist leicht zu erkennen, daß sich aus dem in horizontaler Richtung vom Winde gegen die schräge Fläche ab ausgeübten Drucke ein Auftrieb ergeben muß, welcher die Schwere des Drachens überwindet, solange die Leine ihn festhält.

Drei Kräfte sind zu unterscheiden: 1. die Schwere G, welche im Schwerpunkt g angreift und senkrecht nach unten wirkt. 2. die Druckkraft des Windes. Man zerlegt diese horizontale Kraft in eine Komponente, welche längs ab gerichtet ist und nicht zur Wirkung auf den Drachen kommt, und eine zweite senkrecht zur Fläche ab gerichtete Druckkraft W. Der Angriffs-

punkt dieser Kraft sei *w*. Wir verlegen denselben in der Richtung der Kraft nach *d*, dem Durchschnittspunkte der Kräfte *G* und *W*. 3. Die in der Drachenleine entwickelte Zugkraft *L*. Die Richtung dieser Kraft fällt mit der oberen Strecke der Drachenleine zusammen. Der Angriffspunkt derselben ist der Punkt *c* der Drachenbucht. Wir verlegen ihn in der Richtung der Leine nach *l*. Soll nun ein Gleichgewichtszustand zwischen den drei Kräften *G*, *W* und *L* stattfinden, so müssen ihre Richtungen durch denselben Punkt *d* gehen. Der Drachen muß daher eine solche Neigung gegen die Horizontale annehmen, oder der Leine eine solche Steilheit geben, daß die Leinenrichtung genau durch den Punkt *d* hindurchgeht. Konstruiert man aus *W* und *G* das Parallelogramm, so gibt die Diagonale *df* die Größe der Zugkraft *L* und die entgegengesetzte Richtung derselben.

Hierbei ist nun noch unklar geblieben, wo der Punkt *w*, der Angriffspunkt der zum Drachen senkrecht gerichteten Druckkomponente des Windes liegt Man nennt diesen Punkt das Druckzentrum. Eine rechnungsmäßige Ermittelung desselben stößt aber auf die größten Schwierigkeiten. Man darf nicht annehmen, daß dieses Druckzentrum etwa mit dem Schwerpunkt der Drachenfläche zusammenfällt. Das würde nur der Fall sein, wenn alle Luftteilchen, welche die Drachenfläche treffen, in parallelen Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit gegen die Fläche geführt würden und wenn diese Fläche außerdem eben wäre. Die Luftteilchen geraten aber sogleich bei ihrem Auftreffen auf die vordere Kante in sehr komplizierte Wirbel, die längs der Fläche fortschreiten und daher trifft diese Voraussetzung nicht zu. Man weiß nun namentlich aus Versuchen von Herrn Ahlborn in Hamburg, daß das Druckzentrum bedeutend nach der Vorderkante der Fläche zu liegt, insbesondere, wenn die Fläche vom Winde hohl gedrückt wird, wie das immer der Fall ist.

In der Fig. 15 ist daher das Druckzentrum *w* links, d. h. mehr nach vorn von *g*, dem Schwerpunkte, angenommen. Hätten wir *w* hinter *g*, wie in Fig. 16 angenommen, so würde sich auch in diesem Falle ein Gleichgewicht der drei Kräfte *G*, *W* und *L* konstruieren lassen, allein dies Gleichgewicht würde, wie sogleich dargelegt werden soll, kein stabiles, sondern ein labiles sein, d. h. der Drachen würde bei der geringsten

Verrückung aus seiner Stellung nicht mehr von selbst durch das Spiel der Kräfte in seine Gleichgewichtslage zurückkehren, wie etwa ein hängendes Pendel immer die tiefste Lage aufsucht, sondern er würde umkippen, so wie ein auf die Spitze gestelltes Ei bei der geringsten Verrückung in eine vollkommen andere Lage umschlägt.

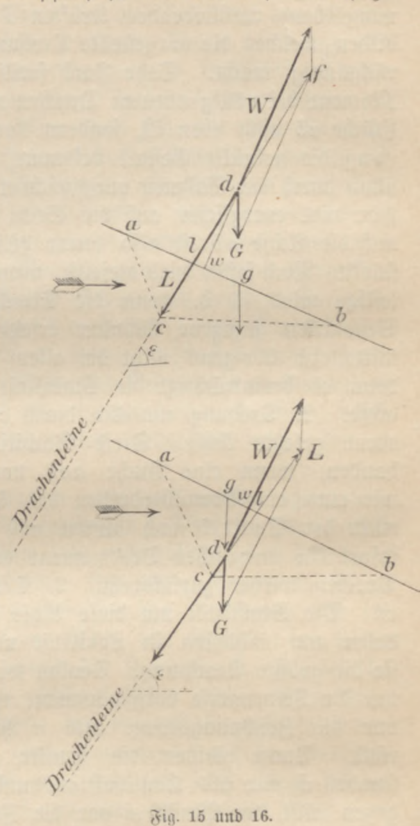


Fig. 15 und 16.

Daß stabiles Gleichgewicht für den Drachen eintritt, ist natürlich von höchster Bedeutung. Andernfalls „schießt" der Drachen. Überlegen wir, wodurch dieses Gleichgewicht bedingt wird. Alle denkbaren Lagenänderungen des Drachens aus seiner Gleichgewichtslage heraus können stets betrachtet werden als gleichzeitige Drehungen um zwei oder, was in diesem Falle bequemer ist, um drei Achsen, die nach verschiedenen Richtungen des Raumes liegen. Als erste Achse nehmen wir die Längsleiste *ab*, als zweite die durch den Punkt *c* oder auch durch *l* gelegte zur Zeichnungsebene senkrechte Linie, als dritte Achse die durch die Drachenleine gebildete Linie. Stabiles Gleichgewicht findet nun statt, wenn bei kleinster Drehung um jede einzelne dieser Achsen sofort Kräfte auftreten, die diese Drehung wieder rückgängig machen. 1. Drehung um die Achse *ab*. Ist die Tragfläche des Drachens völlig eben und wird sie in Fig. 15 durch die Linie *ab* dargestellt, so sei eine Drehung in dem Sinne angenommen, daß die rechte Seite

des Drachens (in der Figur vor der Zeichnungsebene über *ab* liegend) sich nach vorn, d. h. nach der Windseite dreht. Dann wird das Druckzentrum auch nach rechts, d. h. vor die Zeichnungsebene rücken und zusammen mit den in der Zeichnungsebene verbleibenden Kräften *L* und *G* ein Drehmoment bilden, welches die vorgestellte Drehung um die Achse *ab* wieder rückgängig macht. Sehr stark freilich wird dies rückwirkende Moment bei völlig ebenem Drachen nicht sein. Aber sobald die Fläche *ab* nicht eben ist, sondern durch den Winddruck auf das Zeug die geknickte Gestalt bekommt, wie sie beim Eddydrachen schon durch den Rahmen vorgezeichnet ist, geht das Druckzentrum sehr viel energischer auf die Seite. Die Stabilität in bezug auf die Achse *ab* ist also durch diese Knickung bedeutend verstärkt. Noch fester wird dieselbe, wenn die Bucht *acb* eine dreiteilige wird, d. h. wenn die Strecke *ca* durch zwei nach den Seitenecken gezogene Schnüre ersetzt wird. Dies letzte Hilfsmittel ist übrigens nicht bei allen Drachenformen anwendbar, denn es beeinträchtigt die Stabilität in bezug auf die Leinenachse. 2. Drehung um die durch *c* senkrecht zur Zeichnungsebene gelegte Achse. Diese Stabilität ist immer leicht vorhanden, wenn eine Bucht *acb* vorhanden ist. Denn wenn wir etwa ein Vornüberdrehen des Drachens uns vorstellen, so rückt der Punkt *l* nach hinten und es entwickelt sich dadurch sofort ein energisches Drehmoment von *L* und *G*, welches den Drachen wieder zurückdreht. 3. Drehung um die Leinenachse *cl*. Die Stabilität um diese Achse ist die geringste und kann daher am leichtesten in Labilität umschlagen, daher erfordert sie die größte Beachtung. Denken wir uns eine kleine Drehung um die Leinenachse vorgenommen, etwa so, daß der Punkt *b* vor die Zeichnungsebene und *a* hinter die Zeichnungsebene rückt. Dann bleiben die Punkte *c*, *l*, *d* an ihrem Platze (wobei *d* nur als Konstruktionspunkt zu betrachten ist). Dagegen rückt der Punkt *w* vor die Zeichnungsebene, die Druckkraft *W* ist von *w* nach *d* gerichtet und gibt daher eine Komponente in der Richtung von dem neuen vor der Zeichnungsebene liegenden Punkt *w* nach dem alten Orte von *w*. Diese Komponente zieht die Linie *ab* wieder in die alte Lage zurück. Verstärkt wird diese Wirkung noch dadurch, daß eine Drehung um die Leinenachse *cl* auch eine kleine Drehung um *ab* nach sich zieht, wodurch die Druckkraft *W* noch günstiger

verlegt wird. Dies kommt besonders stark beim Eddydrachen und dem einfachen Spielzeugdrachen Hargravescher Konstruktion zur Geltung. Nimmt man sich die Mühe, diese Überlegung auch an der Fig. 16 anzustellen, so sieht man, daß eine Drehung um die Achse *cl* die Druckkraft in die Richtung von *d* nach dem hinter die Zeichnungsebene verlegten Punkt *w* bringt und somit eine noch weitere Herausdrehung, d. h. Labilität bedingen würde. Die Stabilität um diese Achse *cl* zu erzielen, erfordert die größte Kunst. Man half sich mit dem Drachenschwanz. Derselbe entwickelt eine horizontale, mit der Zeichnungsebene parallel bleibende Kraft, die auf den äußersten hintersten Punkt der Längsleiste *ab* wirkt, bei der vorgestellten Drehung um die Achse *cl* vor die Zeichnungsebene rückt und so ein stark zurückdrehendes Moment gibt. Bei dem Hargravedrachen der ursprünglichen Form, ebenso auch bei dem Treppendrachen von Köppen dienen die Seiten- oder Steuerflächen dazu, die Stabilität um die *cl*-Achse zu schaffen und dadurch die sonstigen bedeutenden Nachteile des Schwanzes zu vermeiden. Im allgemeinen wird es sich aber immer darum handeln, durch passende Bauart das Druckzentrum möglichst nach vorn zu verlegen.

Stabilität ist nun zwar die erste und unumgänglich notwendige Bedingung des Drachenfluges. Aber es wird noch mehr verlangt. Der Drachen soll nicht bloß sicher stehen, er soll auch möglichst hoch steigen. In dieser Beziehung ist zu beachten: Zunächst muß das Gewicht des Drachens, also die Kraft *G*, möglichst klein sein. Auch das Gewicht der Leine muß möglichst klein sein, damit die Zugkraft *L*, insoweit sie von dem Gewicht der Leine abhängt, klein wird. Diese Zugkraft hängt nach den Gesetzen der Kettenlinie außerdem von dem Winkel ε ab, den das obere Leinenende mit der Horizontalen bildet. Dieser Winkel muß sich einerseits einem rechten Winkel möglichst nähern, darf ihn aber andererseits nicht ganz erreichen. Denn in letzterem Falle würde, da die Fläche *ab* immer einen Winkel mit der Horizontalen machen muß, um den Auftrieb zu erhalten, der Winkel zwischen ab und der Leine größer als 90° werden. Das ist aber nicht möglich, denn dieser Winkel muß, wie aus Fig. 15 ersichtlich, stets kleiner als 90° bleiben, um überhaupt ein Gleichgewicht zu schaffen. Auch darf der Winkel zwischen *ab* und der Horizontalen nicht

allzu klein werden, da sonst die Druckkraft zu klein werden würde. Es wird daher auf ein möglichst günstiges Verhältnis dieser beiden Winkel hingearbeitet werden müssen. Zu diesem Zwecke müssen alle horizontal in der Windrichtung gelegenen Komponenten möglichst verkleinert werden, da sie die Leine nicht nach oben, sondern nach dem Winde horizontal zu strecken suchen. Man muß daher nicht bloß die Druckkraft W möglichst steil zu stellen suchen, sondern vor allem den unnützen Winddruck gegen vertikale Flächen, sogenannte Stirnflächen, vermeiden und auch den Schwanz beseitigen. Ähnlich so schädlich wie der letztgenannte Einfluß ist auch der Druck des Windes auf die Leine selber. Die Dicke der Leine ist daher möglichst zu vermindern.

Allen diesen Anforderungen sucht man nun nicht bloß durch eine zweckmäßige Bauart der Drachen, durch passend gelegte Trag- und Steuerflächen, durch gute Versteifung der Form und zweckmäßige Fesselung, sondern auch durch gutes Material zu genügen. Das Gestell muß leicht und zugleich stark sein. Tannenholzstäbe, genau parallel den Fasern geschnitten, von ovalem oder gekehltem Querschnitt scheinen die meisten Vorteile zu bieten. Der Überzug muß leicht, dicht und gegen Feuchtigkeit widerstandsfähig sein. Der amerikanische Baumwollstoff Nainsuck oder Seide sind am vorteilhaftesten.*) Das Quadratmeter der Fläche kann auf 50—60 g durch diese Stoffe reduziert werden, Tränkung des Stoffes mit Kautschuklösung erschwert um ebensoviel, wohingegen der freilich nicht sehr dauerhafte Kollodiumüberzug fast nichts wiegt. Die Leine nimmt man am besten aus Stahldraht, sogenanntem Klaviersaitendraht. Derselbe ist bei gleicher Zugfestigkeit drei- bis viermal leichter als Hanfseil und bietet dem Winde die viel kleinere Fläche. Stahldraht von 0,7 mm Dicke hält einen Zug von etwa 85 kg aus und wiegt pro laufenden Meter 3,2 g. Der Zug auf den Drachen wächst mit der Geschwindigkeit des Windes und zugleich proportional mit der Größe der Tragfläche. Angenähert erhält man nach Köppen diesen Zug in Kilogramm, wenn die Windgeschwindigkeit in Metern pro Sekunde mit der Tragfläche in Quadratmetern multipliziert und durch 3 dividiert

*) Auch das sehr leichte Manilapapier der Fabrik von Müller, Volckmar & Co. in Kettwig v. d. Brücke habe ich brauchbar gefunden, besonders, wenn man demselben eine schwache Ölung gibt.

wird. Für eine Windgeschwindigkeit von 15 m pro Sekunde ergibt sich also für jedes Quadratmeter ein Zug von 5 kg, so daß bei diesem Winde ein Drachen von 17 qm durch einen Draht von 0,7 mm gehalten werden würde.

Natürlich darf man den Draht und Drachen niemals bis an die berechneten Grenzen ihrer Festigkeit hinan beanspruchen. Kurzdauernde Windstöße sind nichts Seltenes und erfordern daher einen gehörigen Sicherheitskoeffizienten. Übrigens begegnet man der wechselnden Windstärke durch Anwendung elastischer Zügel, die in das hintere Buchtende *cb* eingelegt werden und bei Windstößen dem Drachen eine mehr nach vorn geneigte Stellung gestatten. Auch die Verwendung von automatisch sich einstellenden Flügeln kann mit Vorteil benutzt werden.

Von erheblicher Bedeutung ist die Koppelung mehrerer Drachen zu einem Gespanne. Man kann die Drachen, wie ich dies schon 1886 ausgeführt habe, hintereinander schalten, indem man die Leine des obersten an der Oberseite des zweiten Drachens befestigt, oder man läßt nach Eddys Vorgang von der Leine des obersten Drachens Nebenleinen sich abzweigen, die die anderen Drachen tragen.

Drachenexperimente in größerem Maßstabe erfordern außer dem Drachen mit seiner Leine noch eine Anzahl von weiteren Hilfseinrichtungen. Wenn mehrere tausend Meter Draht abgelassen werden sollen, so muß dazu eine passende Winde vorhanden sein, auf die der Draht sich ohne die gefährliche Knickbildung auch wieder aufwickeln läßt. Durch Handarbeit ist dies kaum noch zu bewältigen. Motoren müssen daher zu Hilfe genommen werden. Außerdem soll auch die Länge des Drahtes gemessen werden können; daher muß ein Zählwerk eingeschaltet werden, welches die Umdrehungszahl der Kurbel aufschreibt.*) Ferner muß der Winkel gemessen werden, unter dem die Leine ansteigt. Noch wichtiger und entscheidender ist es, die Zugkraft dauernd zu kontrollieren, die in der Leine steckt. Hierzu ist wiederum ein besonderer Meßapparat, ein Dynamometer, erforderlich. Denn durch fortgesetzte und angespannte Beobachtung dieser Dinge lassen sich allerlei Fährlichkeiten, die dem Drachen passieren können, rechtzeitig be-

*) Verwendet man dünnes Stahldrahtseil, welchem die Knickbildung weniger gefährlich ist, so kann man durch eingeflochtene Fäden die Länge leicht markieren.

merken und durch passendes Ablassen oder Einholen der Leine läßt sich dann einem Unglück vorbeugen. Reißt trotz aller Vorsicht der Draht doch einmal, so muß versucht werden, von dem abgelaufenen Draht so viel wie möglich durch schnelles Aufwinden zu bergen. Aber auch der mit einem oder mehreren Drachen wegfliegende Teil des Drahtes bedarf schnellen Eingreifens. Denn vielleicht verfängt sich das abgerissene Ende irgendwo am Erdreich, man kann es durch schnelle Hilfe noch wiederfangen und dadurch nicht bloß das Material retten, sondern auch verhüten, daß das lose herunterhängende fortgeschleifte Ende Menschen und Tiere direkt gefährdet, oder wohl gar durch Kontakt mit elektrischen Leitungen gefährliche Schläge verursacht. Bereitstehende Räder und schnelles gewandtes Personal ist daher ein weiteres Erfordernis. So gestalten sich Aufstiege zu größeren Höhen mit mehreren Drachen zu sehr aufregenden, die Geistesgegenwart der Experimentatoren in hohem Maße in Anspruch nehmenden Unternehmungen, die mit Erfolg nur auf besonders günstigem Terrain und von besonders eingerichteten Drachenstationen aus ins Werk gesetzt werden können. Das oben genannte Werk von Aßmann und Berson gibt uns in der Tat einen höchst interessanten Einblick in die großartigen Einrichtungen der Berliner Station. Ich will von den mannigfachen Einrichtungen derselben, von den Schwierigkeiten, die zu überwinden sind, nur herausheben, daß dort zu allem Sonstigen, was zu bedenken war, noch der Bau eines gewaltigen 25 m hohen Turmes hinzukam. Da nämlich in der Nachbarschaft des Platzes ein Tannengehölz ist, so mußte dem vorgebeugt werden, daß nicht bei schwachem Anstieg der Leine eine Kollision derselben mit den Bäumen stattfände. Der Draht wird im Innern des Turmes über komplizierte Rollensysteme nach oben hinausgeführt und dort durch einen drehbaren gebogenen Arm nach dem Winde gestellt. Wie sehr die Bedienung der Apparate und Maschinen und wie sehr das Oberkommando über das Ganze hierdurch verwickelter wird, liegt auf der Hand.

Nichtsdestoweniger ist es in erstaunlich kurzer Zeit, im Laufe weniger Jahre gelungen, das ganz neue Feld der Drachentechnik fruchttragend auszugestalten, die Drachen selber, die Leinen, die Winden bis herab zu der zweckmäßigsten Art der Verknotung durch unablässiges Probieren und Studieren zu einem achtungswerten Grade der Vollkommenheit zu ent-

wickeln und so ein neues vielversprechendes Hilfsmittel für die Wetterkunde zu gewinnen.

Was aber tun, wenn es an der nötigen Voraussetzung für den Drachenaufstieg, an dem Winde fehlt? Wenn nicht wenigstens ein Wind weht, der 3 m in der Sekunde durchläuft, gelingt es nicht, auch den leichtesten Drachen hochzubringen, und die Tage mit Windstille oder schwachem Winde sind nicht gar so selten. Auch hierfür ist Rat zu schaffen. Wenn kein Wind da ist, muß er künstlich gemacht werden. Vom schnellfahrenden Schiffe aus lassen sich Drachen auch bei absoluter Windstille hochbringen. Eine Fahrgeschwindigkeit von 12 Knoten, d. h. von zirka 6 m pro Sekunde, genügt vollauf. Natürlich darf das Schiff keinen Augenblick stoppen und auch die Fahrtrichtung darf nicht allzu stark oder allzu schnell geändert werden. An vielen Tagen ist auch der schwache Wind lediglich auf die untersten Luftschichten beschränkt, je höher man steigt, desto stärker weht es. Gelingt es also, den Drachen durch die untersten Schichten soeben hindurchzubringen, so hat man gewonnenes Spiel. Man läßt den allerleichtesten Drachen ohne jegliche Beschwerung durch Instrumente hinauf und benutzt ihn als Vorspann für einen oder mehrere größere Drachen, denen nun erst die Instrumente angehängt werden. Dieser Umstand, daß oben stets auf Wind zu rechnen ist, hat zu noch gründlicherer Abhilfe an stillen Tagen geführt. Das Ergebnis der hieraus entstandenen Versuche sind

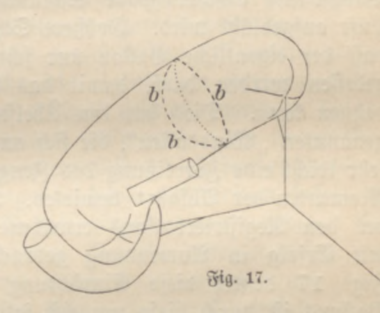


Fig. 17.

4. die Drachenballons. Sie sind ein Mittelding zwischen Ballon und Drachen. Sie verdanken ihre Entstehung einer Idee Archibalds und ihre weitere Vervollkommnung den Herren v. Parseval und v. Sigsfeld. Die Form, die ihnen schließlich gegeben ist, mag durch die Fig. 17 erläutert sein. In der Hauptsache ist das Ganze ein mit Gas gefüllter Ballon, der auch bei Windstille hoch steigt. Aber die verderbliche niederdrückende Wirkung, welche der mit der Höhe sich mehr und

mehr entwickelnde Wind auf einen gewöhnlichen Fesselballon ausübt, wird durch die eigentümliche Form des Ballons und seine drachenartige Fesselung hier vermieden. Der Wind entwickelt vielmehr an der schräg gestellten unteren Seite in ganz ähnlicher Weise wie beim Drachen einen Auftrieb, welcher sich nun der Steigkraft des Ballons in günstigem Sinne hinzufügt. Die Bedingungen für eine stabile Gleichgewichtslage sind für die Drachenballons viel leichter zu erfüllen als für die Drachen, weil der Auftrieb hier eine für sich bestehende Kraft ist und nicht erst aus einer Komponente der Druckkraft entsteht. Zur Herstellung einer stabilen Lage genügt der links unten an den Ballon sich anschmiegende Schlauch, der von dem Winde mit Luft aufgebläht wird. Größere Schwierigkeit entstand dadurch, daß der eigentliche Ballon nur schwach gefüllt und faltig aufgelassen werden darf, damit das Gas sich in der Höhe ausdehnen kann. Dies hat den Übelstand zur Folge, daß die sogenannten „Winddallen", die sich an dem faltigen Ballon bilden, sehr leicht eine Zerreißung des Zeuges namentlich in den ersten Momenten der Abfahrt bewirken. Hiergegen ist nun das schon bei den Registrierballons erwähnte Hilfsmittel des Ballonets mit Erfolg in Anwendung gebracht. Die Linie *bbb* in der Fig. 17 deutet diese Einrichtung an. Der obere Teil des Ballons ist durch diese zunächst faltige Scheidewand ganz nach außen abgeschlossen. In den unteren bläst der Wind hinein und bläht so den ganzen Ballon stramm auf.

Die Drachenballons haben den einen unbezweifelbaren Vorteil gegenüber den Drachen, daß sie auch bei völliger Windstille der unteren Luft ihren Dienst tun und außerdem bei genügend großen Dimensionen erhebliche Gewichte in die Höhe nehmen können. Allein ihre Verwendung wird stets auf kleinere Höhen beschränkt bleiben. Denn die schädlichen Stirnflächen sind bei ihnen in unbequem großem Maße vorhanden. Der unnütze Zug auf die Leine wird sehr beträchtlich. Man muß die Zugfestigkeit und das Gewicht der Leine verhältnismäßig sehr verstärken, um auch plötzlichen Windstößen begegnen zu können. Ein Drachenballon, wie er im aeronautischen Observatorium in Berlin benutzt wird, hat eine Länge von 10,4 m bei einer Höhe von 3,0 m und wiegt mit allen Haltern und Windtrichtern 41 kg. Der Inhalt beträgt 68 cbm. Bei vollständiger Füllung mit Wasserstoff würde dies einen

Auftrieb von 34 kg ergeben, so daß ein Kabel von 30 kg gehoben werden könnte. Wegen der nur teilweisen Füllung verringert sich die Tragfähigkeit aber bedeutend. Tatsächlich kann man nach Aßmanns Angaben rechnen, daß man einen solchen Ballon mit einem Kabel von 400 kg Bruchfestigkeit bis zur Windgeschwindigkeit von 10 m pro Sekunde ohne besondere Gefahr auflassen und dabei Höhen bis zu 800—900 m erreichen kann.

So lange es sich also nur um die Erforschung der untersten 1000 m der Atmosphäre handelt, ist der Drachenballon unzweifelhaft das wirksamste Hilfsmittel. Die Beobachtungen freilich, auf welche alle diese Bemühungen abzielen, gewinnen erst in Höhen über 1000 m ihre größere Bedeutung.

Nachdem wir nun diese verschiedenen Hilfsmittel kennen gelernt haben, durch welche die eigentlichen meteorologischen Instrumente in bedeutende Höhen gebracht werden können, wollen wir auf diese Instrumente selbst noch einen kurzen Blick werfen. Welchen Anforderungen müssen dieselben entsprechen? Sie müssen zunächst ihre Angaben selbst aufschreiben, sofern sie nicht etwa im bemannten Ballon mitgenommen wurden. Sodann muß ihr Gewicht auf das Äußerste reduziert sein, insbesondere für die Mitnahme durch Ballonssondes und durch Drachen. Dann müssen sie sich auch schnell einstellen, um bei schnellem Aufstieg den Änderungen von Luftdruck, Temperatur und Feuchtigkeit prompt folgen zu können. Sie müssen einen hohen Grad von Zuverlässigkeit haben und schließlich müssen sie so gearbeitet sein, daß sie durch Stöße nicht allzusehr leiden.

Das Selbstaufschreiben geschieht bei Barometer, Thermometer und Hygrometer dadurch, daß ein gewöhnlich um eine Trommel gelegter oder auch senkrecht herabhängender Papierstreifen mittels Uhrwerkes an einem Schreibstift entlang geführt wird. Der Stift muß am Ende eines Zeigers sitzen, dessen Stellung von dem Instrument geregelt wird. Es entsteht dann eine Kurve, aus deren Ausmessung leicht entnommen werden kann, wie in jedem Zeitpunkte die Stellung des Zeigers gewesen ist. Man nennt diese selbstaufschreibenden Instrumente nun nicht mehr Thermometer, sondern Thermograph, ebenso Barograph und Hygrograph. Beim Aufzeichnen der Windgeschwindigkeit mittels eines Robinsonschen Schalenkreuzes kommt es, wie wir wissen, darauf an, die in bestimmtem Zeitabschnitt

erfolgten Umdrehungen zu zählen. Man bewirkt dies durch Anbringung eines elektrischen Kontaktes, der etwa nach je 100 Umdrehungen erfolgt und dadurch nach Art der Telegraphenapparate einen Punkt auf dem Papierstreifen verzeichnet. Je näher die Punkte dann auf dem Papiere liegen, desto größer war die Windgeschwindigkeit.

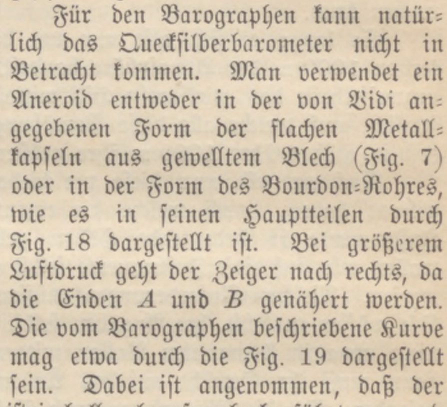


Fig. 18.

Für den Barographen kann natürlich das Quecksilberbarometer nicht in Betracht kommen. Man verwendet ein Aneroid entweder in der von Vidi angegebenen Form der flachen Metallkapseln aus gewelltem Blech (Fig. 7) oder in der Form des Bourdon-Rohres, wie es in seinen Hauptteilen durch Fig. 18 dargestellt ist. Bei größerem Luftdruck geht der Zeiger nach rechts, da die Enden *A* und *B* genähert werden. Die vom Barographen beschriebene Kurve mag etwa durch die Fig. 19 dargestellt sein. Dabei ist angenommen, daß der Apparat von einem Registrierballon langsam hochgeführt war und alsdann in schnellerem Falle wieder zur Erde zurückkehrte. Die Längsrichtung des Streifens, also der Umfang der Registriertrommel, gibt die Zeit, die vertikalen Abstände geben den Barometerstand und die daraus zu berechnende Höhe. In der Fig. 19 sind daher die der Zeigerbewegung entsprechenden leicht gebogenen Linien die Stundenmarken, während die geraden parallelen Linien den Barometerstand angeben. Die Kurve sagt uns, daß der Aufstieg um 9 Uhr begann, daß 9^{30} einem Barometerstand von 550 mm entsprechend eine Höhe von 2600 m und um 11 Uhr die Höhe von 8000 m entsprechend einem Barometerstand von 275 mm erreicht wurde. Bis 12 Uhr ist dann der Ballon wieder unten angelangt.

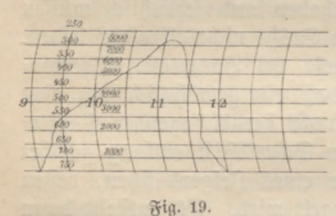


Fig. 19.

Die Registrierung der Temperatur erfolgt in ganz ähnlicher Weise. Als eigentliches Thermometer kann auch hier das

gewöhnliche Quecksilberthermometer keine Anwendung finden, da es nicht imstande ist, einen Schreibstift zu bewegen. Man muß daher zu Metallthermometern greifen. Dazu benutzt man Metallstreifen, die aus zwei sich verschieden stark ausdehnenden, aufeinander gelöteten Streifen bestehen, z. B. aus Stahl und Zink. Bei höherer Temperatur dehnt sich das Zink ungefähr dreimal so stark aus wie der Stahl und der Streifen muß sich daher krümmen. Klemmt man das eine Ende des Streifens fest, so bewegt sich demnach das andere freie Ende und diese Bewegung hat genügend Kraft, um einen Zeiger mit Schreibstift zu drehen. Auch das vorhin genannte Bourdonrohr kann zu einem Thermometer gemacht werden, wenn es nicht wie zu barometrischem Zwecke ausgepumpt, sondern mit Alkohol vollständig gefüllt wird. Die Ausdehnung des Alkohols mit zunehmender Wärme biegt die Enden *A* und *B* auseinander. Noch vorteilhafter läßt sich ein aus zwei verschiedenen Metallen nach einem eigenartigen Prinzip von Tremeschini hergestellter Rahmen benutzen, der so konstruiert ist, daß zwei Punkte desselben eine von der Temperatur unbeeinflußte konstante Entfernung haben. Spannt man zwischen diese beiden Punkte eine dünne Metallamelle, so kann die Ausdehnung derselben einen Zeiger bewegen. Dies Prinzip ist besonders deshalb von Wert, weil schnelle Temperaturänderungen hiermit am leichtesten bemerkbar gemacht werden können. Mehr noch als die eigentliche Konstruktion des Thermometers ist zu erwägen, daß ein genügender Schutz des ganzen Instrumentes gegen Sonnenstrahlung erreicht wird. Ein lebhafter Luftzug, der den empfindlichen Teil des Thermometers umspült, ist hierzu unerläßlich. Beim Aufstiege mit Drachen hat dies keine Schwierigkeit und auch die Registrierballons kann man mit größerer Geschwindigkeit als in Fig. 19 angenommen, aufsteigen lassen, so daß auch hier ein Luftzug von etwa 4 m pro Sekunde erreicht wird.

Hat man nun von dem Thermometer in ganz ähnlicher Weise wie vom Barometer eine Kurve aufzeichnen lassen, so erfährt man für jeden Zeitpunkt des Aufstieges die Temperatur und in Verbindung mit dem Barogramm die in den einzelnen Höhenstufen vorhandenen Temperaturen.

Was die Messung der Luftfeuchtigkeit betrifft, so ist die Anwendung des Psychrometers, d. h. eines feuchten und trockenen Thermometers, schon deshalb nicht möglich, weil man meistens

schon bald auf Temperaturen unter Null stößt und hier das Psychrometer wegen des Gefrierens der feuchten Schicht Schwierigkeiten verursachen würde. Man ist daher auf ein Haarhygrometer beschränkt, das in bezug auf schnelle und sichere Einstellung noch manches zu wünschen übrig läßt.

Man braucht nun natürlich für diese drei Instrumente nicht drei verschiedene Registriertrommeln mit je einem Papierstreifen. Das würde viel zu schwer werden. Vielmehr läßt man, wie dies in den Instrumenten von Marvin, von Richard, Teisserence de Bort und Aßmann zur Ausführung gekommen ist, alle drei Zeiger auf demselben Papierstreifen nebeneinander ihre Kurven schreiben. Eine weitere Vereinfachung ist von Teisserencee de Bort dadurch ermöglicht, daß man das Uhrwerk, welches die Trommel mit dem Papierstreifen dreht, überhaupt ganz wegläßt. Man läßt die Trommel direkt entweder durch ein Metallthermometer oder ein Barometer drehen und von dem andern Instrument die Kurve schreiben. Dann bekommt diese letztere natürlich ein ganz anderes Aussehen. Den horizontalen und vertikalen Abständen entsprechen nun Temperatur und Luftdruck, so daß man aus der Kurve nicht mehr entnimmt, wie zu bestimmten Zeiten Temperatur und Luftdruck gewesen sind, sondern lediglich, welche Temperatur einem bestimmten Barometerstand, d. h. einer bestimmten Höhe entsprochen hat. Das genügt in den meisten Fällen.

Man kann sich denken, daß die Feinregulierungen aller dieser Apparate, ihre zusammengedrängte Plazierung und ihre Befestigung in federnden Gehäusen, die einen Stoß abhalten können, eine Fülle von Aufgaben an die Meteorologen und Mechaniker gestellt hat. Mit welchem Scharfsinn und mit welchem Erfolg praktisch brauchbare Lösungen gefunden sind, das läßt sich erst aus einer Durchsicht der im obigen angegebenen Literatur entnehmen. Hier muß ich mich darauf beschränken, nur die wichtigeren und grundlegenden Gesichtspunkte genannt zu haben. Nur eins will ich zum Schlusse noch hinzufügen, daß es nach Prof. Köppens Mitteilungen tatsächlich gelungen ist, einen Apparat zu bauen, der die drei Elemente Temperatur, Luftdruck und Feuchtigkeit und auch die Windgeschwindigkeit mit befriedigender Genauigkeit registriert und in voller Verpackung nicht mehr wiegt als 1 kg.

III. Vortrag.

Die Klimatologie oder die übersichtliche Zusammenfassung der meteorologischen Einzelbeobachtungen.

Die eigentliche Entwicklung der Wetterkunde begann, wie ich schon in dem ersten Vortrag bemerkte, mit der Erfindung der meteorologischen Meßinstrumente, insbesondere des Thermometers und des Barometers. Ein neuer Geist naturwissenschaftlicher Forschungsmethode wurde von Galilei, von Baco und deren Zeitgenossen geschaffen. Nicht mit unklaren Theorien und zügellosen Spekulationen, sondern mit der Aufsuchung und peinlich genauen nüchternen Beschreibung der Einzelheiten der Naturerscheinungen mußte begonnen werden. Der Wetterkunde steht das Experiment nicht in dem Maße zu Gebote, wie anderen Teilen der Physik. Man kann den Zustand der Luft nicht willkürlich ändern. Die Meteorologie mußte daher denselben Weg einschlagen, wie ihn die Geologie, die Botanik und Zoologie mehrere Jahrhunderte hindurch verfolgen mußten, bevor die Auffindung allgemeiner Gesetze gelang, d. h. den Weg der Beobachtung und Beschreibung der Einzelheiten.

Die Florentinische Academia del Cimento regte bereits im Anfange des 17. Jahrhunderts zu regelmäßigen Wärme- und Luftdruckmessungen an. Es war eine der ersten Aufgaben der im Jahre 1666 begründeten Akademie in Paris, an zahlreichen Orten feste Beobachtungsstationen einzurichten, welche den veränderlichen Zustand der Atmosphäre Tag für Tag und mehrmals an jedem Tage messen und notieren sollten. Noch war man über das Endziel solcher Beobachtungen und die

Möglichkeit einer Zusammenfassung derselben im Unklaren. Die Beobachtung war Selbstzweck, es gewährte schon einen gewissen Reiz, durch Zahl und Maß ausdrücken zu können, wie sich an jedem Orte von Tag zu Tag das Wetter ändere. So hatte sich nun bis gegen das Ende des 18. Jahrhunderts bereits ein ungeheures Zahlenmaterial angesammelt. Als man aber anfing, die Zahlen verschiedener Orte zu vergleichen, stieß man auf die größten Schwierigkeiten. Die Instrumente hatten nicht überall dieselbe Skala, die Zahlen mußten mühsam umgerechnet werden. Manche Instrumente waren überhaupt unzuverlässig. Die Tageszeiten, an denen beobachtet wurde, waren vielfach verschieden und die ermittelten Zahlen daher nicht vergleichbar. Die Mannheimer Societas Palatina, welche unter dem Schutze des Kurfürsten Karl Theodor von 1781 bis 1792 meteorologisches und astronomisches Beobachtungsmaterial sammelte und in den „Ephemeriden" veröffentlichte, erwarb sich das große Verdienst, auf die Benutzung richtiger und nach gleichen Prinzipien konstruierter Instrumente und nicht minder auf die Innehaltung gleichmäßiger Beobachtungszeiten zu dringen. Diese Anregungen hatten jedoch erst durchschlagenden Erfolg, als Alexander von Humboldt durch seine einflußreichen Beziehungen mit englischen und russischen Gelehrten sowohl, wie mit den Regierungen, es veranlaßte, daß in den über die ganze Erde sich erstreckenden Gebieten des englischen und russischen Reiches ein gleichmäßiges Beobachtungssystem an zahlreichen Orten organisiert wurde, das durch den Amerikaner Maury auf das Gebiet der Vereinigten Staaten ausgedehnt wurde. Durch das ganze verflossene 19. Jahrhundert setzen sich die Bemühungen fort, dies Netz von Stationen in den einzelnen Ländern weiter auszubauen. In Deutschland war es Fr. W. Dove, der von Berlin aus rastlos die Stationen organisierte, in unserer engeren Heimat Schleswig-Holstein schuf G. Karsten um die Mitte des Jahrhunderts allein einige 20 Stationen.

Das dauernde Interesse an diesen Arbeiten wachzuhalten, die erheblichen Kosten flüssig zu machen, die freiwillige Mitarbeiterschaft tausender von Beobachtern zu gewinnen, war immerhin nicht leicht. Es wäre auch wohl nicht erreichbar gewesen, wenn nicht schon zu Humboldts Zeiten der Weg angebahnt wäre, das zu einer erdrückenden Masse anschwellende

Zahlenmaterial übersichtlich zu ordnen und so Ziel und Nutzen der unendlichen Arbeit zu umreißen.

Vergegenwärtigen wir uns, wie dies zu machen ist! Nehmen wir einmal an, daß an einem Orte, etwa Kiel, das Thermometer täglich dreimal, morgens 6 Uhr, mittags 2 Uhr und abends 10 Uhr abgelesen sei. Das gibt in einem Jahre 1095 einzelne Zahlen, in 10 Jahren 10950, also viele Seiten dichtgedrängt mit Zahlen. Wie fassen wir dies zu einem Bilde zusammen, um es mit dem ähnlichen eines anderen Ortes vergleichen können? Wir bilden Mittel- oder Durchschnittswerte, die drei Zahlen eines Tages addiert und die Summe durch 3 dividiert gibt das Tagesmittel. Addiert man dann alle Tagesmittel eines Monats und dividiert durch 30 bezw. 31, so erhält man das Monatsmittel und in gleicher Weise aus den 12 Monatsmitteln das Jahresmittel. Der Durchschnitt der 10 Jahresmittel gibt dann bereits einen die durchschnittliche Temperatur des Ortes hinreichend scharf kennzeichnenden Zahlenwert. Nimmt man weiter das Mittel aus den sämtlichen Morgenbeobachtungen eines Monats, so hat man die um diese Tageszeit durchschnittlich stattfindende Temperatur, die nun prinzipiell verschieden ist von der mittleren Tagestemperatur dieses Monats. Macht man es mit den andern Stunden des Tages ebenso, so sieht man, wie im Durchschnitt aller Tage die Temperatur vom Morgen an bis nach Mittag steigt, dann wieder abnimmt um am nächsten Morgen ihren tiefsten Wert zu erhalten. So gewinnt man ein Bild des täglichen Ganges oder der Tagesperiode der Temperatur. Die Durchschnittswerte der einzelnen Monatsmittel aus vielen Jahren geben in ähnlicher Weise den jährlichen Gang der Temperatur.

Bei genauerem Zusehen sind diese Mittelbildungen nicht ganz so einfach und selbstverständlich, wie es auf den ersten Blick scheint, insbesondere hat die Berechnung des Tagesdurchschnittes Schwierigkeiten gemacht. Denn es ist offenbar nicht gleichgültig, an welchen Tagesterminen die Beobachtungen gemacht werden. Drängt man dieselben mehr nach dem Mittag zusammen, erhält man zu hohe Mittel; umgekehrt zu kleine, wenn man die meisten Beobachtungen morgens oder abends macht. Auch wenn plötzliche Sprünge im Tagesgang eintreten, etwa bei Wetterumschlägen, wird man im allgemeinen aus drei

Einzelbeobachtungen nicht das wahre Tagesmittel finden. Als wahres Mittel einer veränderlichen Größe muß man offenbar denjenigen Wert betrachten, den man erhält, wenn man eine sehr große Anzahl dicht aufeinander folgender Werte addiert und diese große Summe durch die entsprechend große Anzahl der Beobachtungen dividiert. Danach würde das vollkommenste Verfahren darin bestehen, in ganz kurzen Zwischenräumen Tag und Nacht das Instrument abzulesen und so direkt das wahre Tagesmittel zu bilden. Das übersteigt natürlich die Leistungsfähigkeit der Beobachter. Nur selbstregistrierende Apparate können diese Aufgabe unmittelbar lösen. Bis man diese hatte, mußte man sich anders zu helfen suchen. Man mußte die Frage stellen, welche drei oder vier Termine an einem Tage derart passend gelegen seien, daß der aus ihnen gebildete Mittelwert dem wahren Tagesmittel möglichst gleich zu erachten sei. Der berühmte Astronom Bessel hat hierauf die Antwort gegeben. Von verschiedenen Orten lagen stündliche Beobachtungen aus längeren Zeiträumen vor. Diese konnte man bereits als so dicht gedrängt betrachten, daß das Mittel aus diesen 24 gleich weit auseinanderliegenden Werten dem wahren Tagesmittel gleich zu setzen war. Bessel zeigte nun durch elegante mathematische Untersuchung, wie man aus der so gewonnenen wahren Tageskurve drei am Morgen, Mittag und Abend gelegene Einzelbeobachtungen finden könne, deren Mittel gleich dem wahren Tagesmittel sei. Für die drei oben genannten Termine 6, 2 und 10 Uhr trifft dies, wenn auch nicht für alle Jahreszeiten und alle Gegenden der Erde gleich gut, so doch im Durchschnitt am besten zu. Man war daher befugt, auf Grund der Besselschen Untersuchungen anzunehmen, daß eine solche dreimalige tägliche Beobachtung im Durchschnitt das wahre Tagesmittel ergebe und durfte sich nun mit Fug und Recht darauf beschränken, das Thermometer nicht mehr stündlich, sondern nur dreimal am Tage abzulesen. Spätere Untersuchungen haben gezeigt, daß man auch aus den drei Beobachtungen um 7, 2 und 9 Uhr einen mit dem wahren Mittel übereinstimmenden Wert berechnen könne, wenn man die Abendbeobachtung doppelt rechnet und die Summe nun durch 4 dividiert. Auch noch andere Kombinationen sind versucht und vorgeschlagen worden.

Für alle diejenigen meteorologischen Elemente, die keine

ausgesprochene Tagesperiode haben, wie Luftdruck, Bewölkung, Wind, sind zur Mittelbildung natürlich möglichst drei Termine zu nehmen, die in gleichen Zeitabständen liegen, so daß auch aus diesem Grunde die Zeiten 6, 2 und 10 Uhr am geeignetsten sind.

Sind Minimum- und Maximumthermometer an einer Station, so kann auch bereits das Mittel aus beiden Ablesungen mit großer Annäherung als das wahre Tagesmittel gelten.

Eine besondere Rechnungsart muß angewandt werden, um aus den einzelnen beobachteten Windrichtungen die mittlere zu berechnen. Schon im 18. Jahrhundert gab Lambert hierfür die Methode an. Man zeichnet auf einer Windrose nach den einzelnen Himmelsrichtungen Pfeile, deren Länge entsprechend der Häufigkeitszahl der nach diesen Richtungen beobachteten Winde bemessen wird, und setzt nun diese 8 oder 16 verschiedenen und verschieden langen Linien zu einer Resultante genau in derselben Weise zusammen, wie man ein Diagramm von Kräften nach der bekannten Regel des Parallelogramms zu einer Resultante zusammensetzt.

Noch mag hier die Bemerkung Platz finden, daß die Aufgabe, an einer Station regelmäßig jahraus jahrein dreimalige tägliche Beobachtungen der Wetterelemente zu machen, eine recht schwierige ist, nicht etwa wegen der Mühe der einzelnen Ablesung, sondern wegen der unverbrüchlichen Regelmäßigkeit und Gewissenhaftigkeit, welche die Voraussetzung des Wertes solcher Beobachtungen ist. Nur Personen von außerordentlich regelmäßigem Lebenslauf können einen solchen Dienst übernehmen. Glücklicherweise hat es an solchen aber nirgends und zu keiner Zeit gefehlt.

So kann nun also zunächst rechnerisch das Zahlenmaterial einer Station zu Durchschnittswerten zusammengefaßt werden. Die Mittel der einzelnen Stundenbeobachtungen kennzeichnen den Tagesgang, die durchschnittlichen Monatsmittel den Jahresgang, die Durchschnittswerte der Maxima für sich berechnet und diejenigen der Minima lassen die tägliche Schwankung erkennen, die Differenzen der Tagesmittel von einem Tag zum nächsten, die sogenannten interdiurnen Temperaturschwankungen geben ein Bild vom Witterungswechsel der Station. Genug, auf die verschiedenste Weise gewinnt man ein aus verhältnis-

mäßig wenigen Schlußzahlen bestehendes Bild, aus dem der unaufhörliche Wechsel des Wetters von Tag zu Tag verschwunden ist, nur Durchschnittswerte übrig bleiben und die regelmäßigen Perioden des Tages und Jahres in einfachen auf- und absteigenden Zahlenreihen hervortreten, nicht mehr entstellt von den Zufälligkeiten der einzelnen Tage oder abnormen Jahre.

Auf solche Weise ist z. B. für unseren Ort Kiel die folgende, das Ortsklima darstellende Tabelle entstanden.

Das Klima in Kiel

nach 50jähriger Beobachtung am physikalischen Institut (1849—99).
(Höhe über dem Meeresspiegel 4.7 m.)

Wärme.

Jahresmittel + 8.40° C.

Mittel für den Winter (Dez.—Febr.) + 1.21,
" " das Frühjahr (März—Mai) 6.99,
" " den Sommer (Juni—Aug.) 16.26,
" " den Herbst (Sept.—Nov.) 9.08.

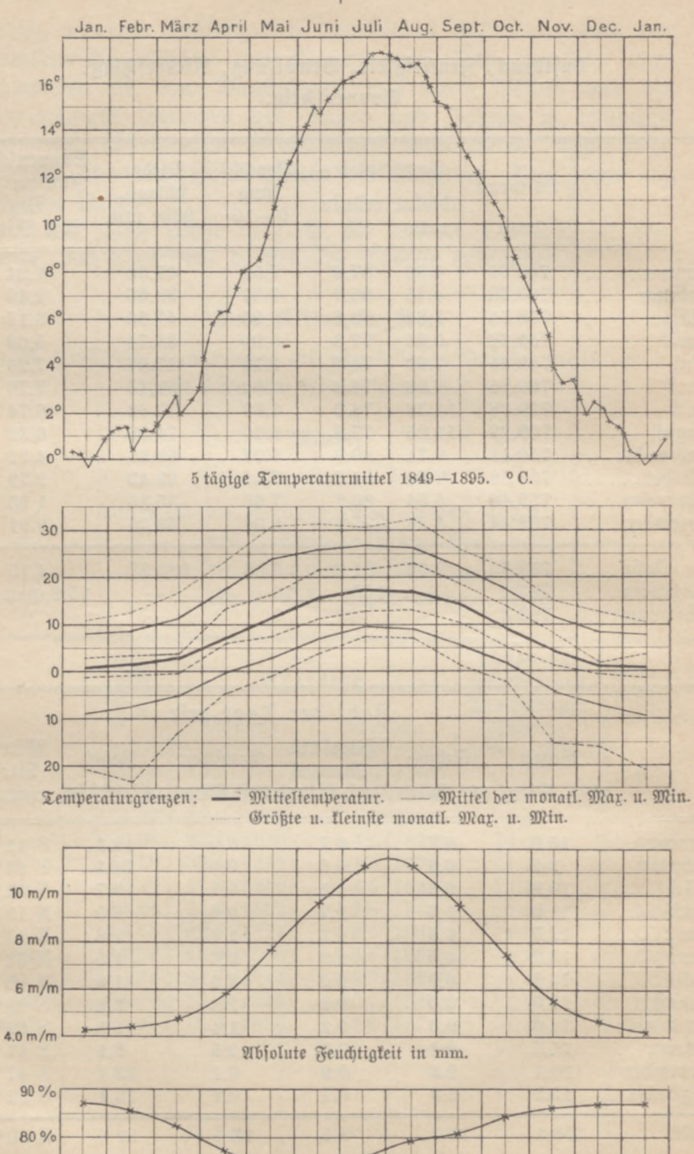
	Monatsmittel	Extreme		Mittel der interdiurnen Temperaturdifferenz	Absolute Maxima derselben
		Maxima	Minima		
Januar	+0.58	10.5 (1877)	—21.2 (1861)	1.67	8.75
Februar	1.21	12.8 (1882)	—23.4 (1855)	1.51	7.57
März	2.82	17.0 (1896)	—13.6 (1853)	1.31	7.10
April	6.96	23.1 (1880)	—4.2 (1879)	1.34	6.91
Mai	11.18	30.4 (1849)	—1.5 (1877)	1.46	8.30
Juni	15.28	31.2 (1858)	+3.9 (1849)	1.41	7.36
Juli	16.94	31.0 (1865)	+6.6 (1849)	1.25	9.50
August	16.55	32.5 (1875)	+6.5 (1895)	1.20	6.71
September . . .	13.59	25.9 (1880)	+0.6 (1855)	1.13	5.47
Oktober	9.24	21.7 (1874)	—2.7 (1849)	1.29	6.30
November . . .	4.40	15.2 (1895)	—15.1 (1849)	1.42	8.90
Dezember	1.83	12.6 (1856)	—16.6 (1876)	1.62	11.50

Luftdruck, Feuchtigkeit, Bewölkung, Niederschlag, Sonnenschein.

	Luftdruck mm	Feuchtigkeit absolut mm	Feuchtigkeit relativ %	Bewölkung 0—10	Niederschlagshöhe mm	Sonnenscheinstunden pro Tag (9 j. Mittel)
Januar	760.60	4.36	87.4	7.53	47.38	1.24
Februar ...	760.48	4.45	85.7	7.57	38.65	2.46
März......	758.75	4.84	82.6	6.95	47.65	3.17
April.......	759.62	5.95	77.3	6.20	36.74	5.09
Mai	760.25	7.69	74.7	5.79	47.57	7.26
Juni	760.25	9.98	74.3	6.02	61.15	7.76
Juli	759.38	11.33	76.3	6.69	73.02	6.74
August	759.29	11.25	77.8	6.30	74.95	6.32
September ..	760.41	9.71	80.9	6.07	69.31	4.92
Oktober.....	758.58	7.60	84.7	7.45	69.43	2.79
November...	759.40	5.54	86.1	7.66	55.15	1 35
Dezember ...	759.44	4.74	87.1	8.04	59.36	0.91
Jahr ...	759.75	7.37	81.3	6.86	680.37	4.15
Maximum...	787.2	—	100	10	—	15.2 (Juli 1896)
Minimum...	723 3	—	—	0	—	0

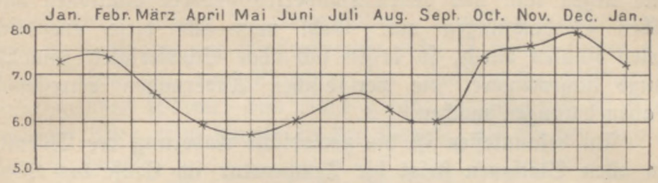
	Zahl der Tage mit Regen 49 j. Mittel	Schnee 49 j. Mittel	Hagel und Graupel 49 j. Mittel	Gewitter 49 j. Mittel	Nebel 18 j. Mittel	Mittlere Windrichtung
Januar ..	10.6	6.7	0.7	0.0	12.1	S 41° W
Februar ..	9.0	6.6	0.9	0.0	11.1	S 63° W
März	10.8	6.3	1.5	0.1	9.7	N 83° W
April	11.0	1.6	1.7	0.9	6.5	N 19° W
Mai	12.7	0.4	1.3	1.7	1.8	N 44° W
Juni	13.2	0.0	0.3	2.6	1.5	N 63° W
Juli	14.8	0.0	0 2	3.3	1.3	N 88° W
August ...	16.0	0.0	0.2	2.8	3.8	S 84° W
September	14.0	0.0	0.3	1.4	5.5	S 67° W
Oktober ..	15.7	0.2	0.8	0.5	9.1	S 47° W
November	13.1	2.3	0.9	0.1	13.1	S 47° W
Dezember.	12.2	5.9	0.7	0.1	13.1	S 52° W
Jahr	153.1	30.0	9.5	13.5	88.6	S 80° W

Tafel I.

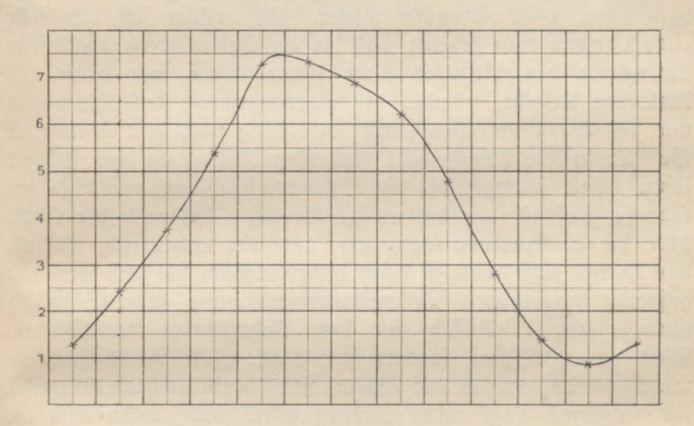


Jan. Febr. März April Mai Juni Juli Aug. Sept. Oct. Nov. Dec. Jan.
16°
14°
12°
10°
8°
6°
4°
2°
0°
5 tägige Temperaturmittel 1849—1895. °C.
30
20
10
0
10
20
Temperaturgrenzen: Mitteltemperatur. Mittel der monatl. Max. u. Min.
Größte u. kleinste monatl. Max. u. Min.
10 m/m
8 m/m
6 m/m
4.0 m/m
Absolute Feuchtigkeit in mm.
90 %
80 %
70 %
Jan Febr. März April Mai Juni Juli Aug. Sept. Oct. Nov. Dec. Jan.
Relative Feuchtigkeit in %.

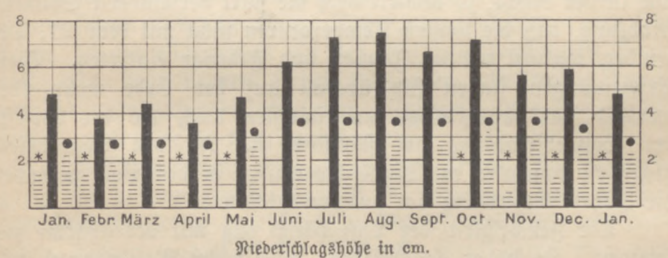
Tafel II.



Bewölkung (0—10).



Sonnenschein in Stunden pro Tag.



Niederschlagshöhe in cm.

Zahl der Tage mit Regen (●); mit Schnee (*).

Eine graphische Darstellung, wie sie im wesentlichen auf demselben Zahlenmaterial beruht und ohne weiteres verständlich sein wird, ist auf den Tafeln I und II wiedergegeben.

Ebenso wie in der beispielshalber herangezogenen Station Kiel liegen nun aus vielen Hunderten anderer Stationen dieselben Beobachtungen vor. Geht man alle diese unendlich vielen Zahlen durch, so lassen sich ohne Schwierigkeit zunächst einige allgemeinere, die periodischen Änderungen betreffende Wahrnehmungen machen.

Am bekanntesten ist die periodische Änderung der Wärme. An allen Stationen steigt die Temperatur im Laufe des Vormittags mit zunehmender Sonnenhöhe und steigt nach 12 Uhr noch etwa 1—2 Stunden weiter. Es erklärt sich dies sehr einfach, wenn man bedenkt, daß die am Thermometer abgelesene Luftwärme das Resultat einer erwärmenden und einer abkühlenden Ursache, nämlich der Durchwärmung des Erdbodens und des Wärmeverlustes durch Strahlung nach dem Weltraum ist. Die erstere Ursache hält noch über Mittag an und steigert ihren Effekt solange, bis die Wärmeeinstrahlung nur noch gerade so groß ist, wie der andere Verlust. Während der Nacht hört die Einstrahlung ganz auf und der andauernde Verlust von Wärme muß daher zu einer unausgesetzten, bis zum Sonnenaufgang fortgehenden Temperaturerniedrigung führen. Ganz ähnlich verhält es sich mit dem Jahresgange der Wärme. Nicht am 20. Juni, sondern erst Mitte Juli bis August erreicht das Tagesmittel der Wärme und ebenso auch die Maxima der einzelnen Tage ihren höchsten Wert und, wenn auch im Winter die Sonneneinstrahlung nicht so vollständig aufhört, wie in der Nacht, so bewirkt doch die stark verminderte Sonnenstrahlung, daß die tiefsten Temperaturen nicht mit dem 21. Dezember, sondern erst im Januar und Februar eintreten. Diese Erscheinungen finden sich überall auf der Erde mehr oder weniger stark ausgeprägt, am stärksten dort, wo der Wechsel der Sonnenstrahlung am stärksten ist. In den Äquatorialgegenden muß also die Tagesschwankung, in den Polargegenden die Jahresschwankung am ausgeprägtesten sein.

Die Feuchtigkeit der Luft hängt eng mit der Wärme zusammen. Je höher die Wärme, desto mehr Wasserdampf entwickelt sich vom nassen oder nur feuchten Erdreich. Die absolute Feuchtigkeit hält daher im allgemeinen Schritt mit der Wärme, wenigstens im Jahresgange. Der tägliche Gang ist nicht so hervortretend, weil die Zunahme des Wasserdampfes zwar mit steigender Luftwärme eintritt, dagegen die Abnahme

desselben nur nach erfolgter Sättigung der Luft und dann eintretenden Niederschlägen möglich ist. Anders die relative Feuchtigkeit. Steigt die Temperatur, so wird im allgemeinen die Anreicherung mit Wasserdampf nicht so schnell folgen und daher sehen wir eine Abnahme der relativen Feuchtigkeit bei zunehmender Wärme, also einen gerade umgekehrten täglichen Gang. Dies tritt sowohl in der Tages-, als in der Jahresperiode hervor.

Aus den Mittelwerten des Barometers sind regelmäßige Tages- oder Jahresschwankungen sehr viel weniger leicht zu erkennen. Für Orte der gemäßigten Zonen sind diese Perioden so schwach und werden von den viel stärkeren unregelmäßigen Schwankungen so sehr überdeckt, daß sie kaum mit Sicherheit nachgewiesen werden können. Nur in den Äquatorialgegenden ist ein täglicher Gang des Barometers im Betrage einiger Millimeter nachweisbar. Die Ursache liegt in der Auflockerung und dem Leichterwerden der Luft durch die Sonneneinstrahlung. Würde man, was bisher nicht durchgeführt ist, die Veränderungen des Barometers von einem Tag zum andern rechnerisch verfolgen, also gewissermaßen die Unruhe des Barometers zur Darstellung bringen, so würde sich voraussichtlich für jeden Ort eine jährliche Periode herausstellen, in welcher die Unruhe des Luftdrucks im Frühling und Herbst ein Maximum, im Sommer und Winter ein Minimum erreicht. Die Erklärung hiervon führt übrigens zu komplizierteren Überlegungen.

Bewölkung und Niederschläge zeigen in den gemäßigten Zonen keinen ausgesprochenen Tagesgang, dagegen einen jährlichen, der im allgemeinen mit der relativen Feuchtigkeit Schritt hält. In den Tropen findet man aber sehr kräftig hervortretende regelmäßige Wechsel von Regenzeit und Sonnenschein sowohl nach Tages- als Jahreszeiten.

Die Windrichtung zeigt an manchen Orten keinerlei Tagesgang, an anderen dagegen, z. B. Küstenplätzen und Gebirgsgegenden, zu Zeiten regelmäßigen Wechsel von See- und Landwind, Höhen- und Talluft. Fast alle Orte haben aber einen mehr oder weniger starken jährlichen Gang in der Windrichtung.

Das Zahlenmaterial der verschiedenen Stationen läßt aber nicht bloß solche durchstehenden regelmäßigen Wechsel der Witterung nach Tages- und Jahreszeiten erkennen, sondern es

setzt uns auch in den Stand, die Durchschnittswerte der einzelnen Elemente für größere Bezirke zu berechnen. Nehmen wir z. B. von 26 schleswig-holsteinischen Stationen die Jahresmittel der Temperatur und bilden hieraus wieder das Mittel, so erhalten wir offenbar eine Zahl, welche die Durchschnittstemperatur unserer Provinz sicherer zum Ausdruck bringt, als es der Mittelwert einer einzigen Station tut. Oder, wenn wir den klimatischen Unterschied zwischen dem Osten und Westen, dem Süden und Norden unserer Provinz ermitteln wollen, so werden wir aus jedem dieser Bezirke mehrere Stationen heranziehen und deren Mittelwerte bilden. Denn die einzelne Station kann sehr wohl durch allerlei lokale Einflüsse abnorm kalt oder warm sein.

Recht mühsam ist dieser Weg. Aber er ist schlechterdings nicht zu vereinfachen, wenn wir das in einem Lande oder Kontinente einer bestimmten geographischen Breite und einer bestimmten Lage in bezug auf Höhe und Tiefe, Nähe von Meer und Land, von Gebirge und Niederung zukommende Klima erforschen wollen.

Die Gesamtheit aller dieser von der ganzen Erde gesammelten Zahlen gibt uns dann schließlich ein Gesamtbild der in den einzelnen Ländern und Kontinenten herrschenden Klimate. Die bloßen Zahlen wären indessen wenig anschaulich. Sie würden zwar leicht erkennen lassen, wie z. B. die Temperatur immer niedriger wird, in je höhere Breiten wir gehen. Aber die weiteren Einflüsse der Meere, der Gebirge und Küsten würden sich aus dem Gewirre der bloßen Zahlen nicht gerade leicht herauslesen lassen, selbst wenn wir die Zahlen der einzelnen Stationen direkt in eine Landkarte einschrieben.

Hierzu ist vielmehr eine andere Methode erforderlich, welche sich für die Meteorologie von außerordentlichem Werte erwiesen hat. Sie geht in ihren ersten Anfängen auf den Engländer Halley zurück und ist später von Humboldt und Dove weiter entwickelt. Man entwirft nämlich auf einer Landkarte ein System von Linien derart, daß alle Orte, welche auf derselben Linie liegen, die gleichen Durchschnittszahlen der meteorologischen Elemente besitzen. Insbesondere wird diese Methode zur Darstellung des wichtigsten klimatischen Elementes, der Wärme, in Anwendung gebracht. Verbinden wir also alle Orte, welche die gleiche mittlere Jahrestemperatur, z. B. $+ 10^0$

haben, so erhalten wir eine Linie, welche man Isotherme nennt, und zwar die Isotherme + 10°. Ebenso kann man die Isothermen + 8°, 9°, 11°, 12° usw. zeichnen. Natürlich gehen diese Linien nicht immer genau durch die Stationsorte. Sie sind aus den Stationszahlen berechnet. Haben z. B. zwei benachbarte Stationen die Mittel 10,1° und 9,9°, so geht die Isotherme 10° gerade in der Mitte zwischen beiden Orten durch. Die lokalen Einflüsse einer Station würden sich so in einer entsprechenden Krümmung der Linien bemerkbar machen. Gleicht man die Linien dann graphisch aus, so erhält man den Durchschnittsverlauf derselben.

So ist die folgende Karte entstanden, welche den ausgeglichenen Verlauf der Isothermen für die Erdoberfläche zeigt und uns nun auf einen Blick die Verteilung der Wärme über die Erdoberfläche erkennen läßt.

Zunächst fällt auf, daß die Isothermen keineswegs mit den Parallelkreisen laufen, wie dies doch der Fall sein müßte, wenn die Erdoberfläche überall von gleicher Beschaffenheit wäre und lediglich der höhere oder tiefere Stand der Sonne bedingend für die durchschnittliche Wärme sein würde.

Sehen wir uns diese Linien etwas näher an! Die Isotherme + 30° ist in sich zurücklaufend und liegt über dem zentralen und östlichen Teile Afrikas, ihre Spitze bis ins rote Meer vorschiebend. Hier wird also ein Gebiet umgrenzt, dessen Jahrestemperatur höher ist als irgenwo sonst. Nördlich davon läuft die Isotherme + 25° dem Äquator noch einigermaßen parallel um die Erde. Sie zeigt nur an der nordwestlichen Küste Afrikas eine tiefe Ausbuchtung nach Süden und kennzeichnet dadurch das verhältnismäßig zur äquatorialen Nähe zu kühle Klima dieser Küste. Die folgenden Isothermen 20° und 15° verraten durch ihre von der mexikanischen Küste beginnenden nördlichen Ausbuchtungen die verhältnismäßig hohe Temperatur des südlichen und südwestlichen Teiles von Nordamerika. Die an London in der Breite von 52° vorübergehende Isotherme 10° sinkt zu dem um 7—8 Breitengrade südlicheren Odessa, fällt in China noch weiter unterhalb 40° Breite, steigt im Stillen Ozean langsam und an der nordamerikanischen Westküste schnell nach Norden, sinkt bis Neuyork (42°) und steigt im Atlantischen Meere wieder bis London. Noch stärkere Abweichungen von den Parallelkreisen zeigen die nördlicheren



Tafel III.

Jahres-Isothermen.

Isothermen. So geht die Isotherme 5° vom 60. Parallel bei Christiania langsam durch Europa und Asien bis zum 44. Parallel, bei Wladiwostok vorbei, steigt im Stillen Ozean bis an die Küste von Alaska unter 60° hinauf, sinkt im amerikanischen Kontinente wieder bis nach Neufundland (43° n. Br.) und steigt steil nach NO. im Atlantischen Ozean an, die Südspitze Islands passierend, bis über den Polarkreis, etwa bis 68° an der norwegischen Küste auf, um nun in steilem Abfall bis Christiania zurückzulaufen.

Überall auf der nördlichen Halbkugel, wo die Isothermen starke Ausbuchtungen nach Norden haben, herrscht ein Klima, das wärmer ist, als es dieser geographischen Breite eigentlich zukäme. Auf der südlichen Halbkugel ist es umgekehrt. Die Westküsten der großen kontinentalen Ländermassen, also Westamerika und Westeuropa, sind also verhältnismäßig warm. Ganz besonders tritt dies an der norwegischen Küste aus dem Lauf der Isothermen hervor, und die Erklärung ist gerade hier am deutlichsten zu finden gewesen. Der bekannte Golfstrom ist die Ursache. Derselbe entwickelt sich von Zentralamerika aus, geht nordöstlich durch den Atlantischen Ozean, beinahe wie ein Fluß, deutlich durch die Farbe abgegrenzt, oft schon von weitem sichtbar durch den Nebel, mit dem er dampfend daherfließt. Diesem Strome verdankt Europa, insbesondere das nordwestliche, seine milde, warme Luft, die vom Westen vom Ozean herüberweht und unsere Länder heizt, aber auch fleißig mit Regen begießt.

So wie in diesem, dem Seefahrer leicht ins Auge springenden Falle des Golfstromes zeigt uns auch die Vergleichung anderer Meeresströmungen mit dem Verlauf der Isothermen, daß alle wesentlichen Ausbuchtungen der letzteren durch jene bedingt sind.

Der auf Tafel III gemachten Darstellung der jährlichen Durchschnittstemperatur entsprechend, kann man nun auch die Wärmeverteilung in den einzelnen Monaten zeichnen. Die Unterschiede des See- und Binnenklimas und die Einflüsse der Meeresströmungen treten hier noch viel stärker hervor. Die Isothermen weichen von den Breitengraden noch unregelmäßiger ab.

Dove hat noch in anderer Weise mit nicht minder großem Erfolg versucht, die Wärmeverteilung übersichtlich auf der Karte

darzustellen. Er nahm aus allen Orten, die auf demselben Parallelkreis lagen, das Mittel und erhielt so die dieser Breite im Durchschnitt zukommende Temperatur. Hatte nun ein Ort eine höhere Temperatur, als jenem für seine Breite berechneten Werte entsprach, so wurde dies als positive Abweichung oder Anomalie bezeichnet. Man kann so für jeden Ort seine thermische Anomalie berechnen und nun ein neues Liniensystem, das System der Isametralen, entwerfen, wobei alle Punkte, die auf derselben Linie liegen, die gleiche Anomalie haben.

Unser Land hat sowohl im Winter wie im Sommer positive Anomalie, ist also wärmer, als es nach seiner geographischen Breite sein sollte. Im Sommer rückt uns zwar die Isametrale Null ziemlich nahe, so daß uns ein Übermaß von Hitze erspart bleibt. Im Jahresdurchschnitt ist unsere positive Anomalie 6°. Auf den Lofoten beträgt die Anomalie im Januar + 25°, in Sibirien — 26°.

Die Temperatur ändert sich nun ferner noch mit der Höhe der Stationen über dem Meeresspiegel. Durchschnittlich kann man auf Grundlage der von Professor Hann angestellten Ermittelungen annehmen, daß mit je 100 m Höhe die Temperatur im Durchschnitt des Jahres für alle Breiten ziemlich gleichmäßig um 0,57° abnimmt. Wenn man diese Höhenabnahme der Temperatur den Durchschnittswerten der Stationen als Plus hinzufügt, erhält man die auf den Meeresspiegel reduzierte Temperatur der Station.

Die Feuchtigkeit der Luft kann in ganz derselben Weise wie die Temperatur teils rechnerisch, teils durch graphische Darstellung zu einem großen Gesamtbilde der Erdoberfläche ausgestaltet werden. Die Verhältnisse werden aber schon merklich komplizierter. Die Abhängigkeit von der geographischen Breite wird hier durch die Einflüsse des Meeres und der Kontinente noch mehr als bei der Temperatur überdeckt. Es mag genügen, einige allgemeine Ergebnisse anzuführen.

Der Wasserdampfgehalt oder die absolute Feuchtigkeit geht in erster Linie parallel mit der Temperatur. Je größer die Wärme, desto mehr Wasser verdunstet. Wir finden daher durchweg, daß sich die täglichen und jährlichen Schwankungen des Wassergehaltes sehr eng an die Perioden der Temperatur anschließen. Das Tagesmaximum liegt in den ersten Nachmittags-

stunden und das Jahresmaximum im Juli—August. An Orten mit Seeklima sind die Schwankungen geringer als an Orten mit Binnenklima, ganz wie bei der Temperatur. Aber die herrschenden Windrichtungen bringen hier doch mancherlei Abweichungen hervor. Seewinde sind wasserdampfreicher als Landwinde von derselben Temperatur. Luftströme, die vom Gebirge herunterkommen und hier bereits ihre Feuchtigkeit abgesetzt haben, können sich bei ihrer Senkung in die Ebene mechanisch erwärmen und kommen so trotz ihrer verhältnismäßig hohen Temperatur als trockene Luft (Föhn) in die Ebene.

Die höchsten Dunstdrucke finden sich natürlich in den Tropen. Im Januar erreichen sie hier südlich vom Äquator Durchschnittswerte von 24 mm. Nur die kontinentalen Wüstengegenden von Afrika und Asien bringen es trotz hoher Temperatur nicht über etwa 5 mm. In den nördlichen Kontinenten sinkt der Dunstdruck im Winter auf 1 mm herab. Im Juli liegt das Maximum nördlich vom Äquator. Am Ganges finden wir Durchschnittswerte von 26 mm und auch in der Sahara steigen sie bis auf 10 mm.

Die relative Feuchtigkeit ist naturgemäß von der geographischen Breite fast ganz unabhängig. In ihr kommen alle lokalen Einflüsse, die Nähe von Meer und Gebirge und die herrschenden Winde in der verwickeltsten Weise zur Geltung. Allgemein kann man sagen, daß die Tages- und Jahresschwankungen der relativen Feuchtigkeit den umgekehrten Gang wie die absolute Feuchtigkeit zeigen. Am gleichmäßigsten bleibt sie am und über dem Meere, wo man Durchschnittswerte von 75—80 % annehmen kann.

Vom Luftdruck ist schon auf S. 69 gesagt, daß die durch Mittelbildung gewonnenen, an bestimmte Tages- oder Jahreszeiten geknüpften periodischen Schwankungen unerheblich sind und von den viel stärkeren unregelmäßigen Änderungen überdeckt werden. Die Verteilung des Luftdrucks über die ganze Erdoberfläche zeigt dagegen im Durchschnitt ganzer Monate bemerkenswerte Unterschiede im Winter und Sommer. So herrscht im Januar der tiefste, im Mittel bis zu 750 mm heruntergehende Luftdruck im nördlichen Teile des Atlantischen Ozeans etwa um Island herum, ein zweites Minimum lagert im Norden des Stillen Ozeans. Ein breiter Gürtel hohen Luftdruckes, der im nordöstlichen Asien ein Maximum von

780 mm erreicht, über Nordamerika stark nach Norden ausbuchtet und bis zu etwa 17° n. Br. herunterreicht, zieht sich rings um die Erde. Auf der südlichen Halbkugel liegt zwischen 20 und 40° Breite gleichfalls ein schmälerer, durch Südamerika unterbrochener Gürtel höheren Druckes. Im Juli kehrt sich diese Verteilung einigermaßen um. Der ganze Norden zwischen dem 60. und 70. Grad und ganz Asien bis zu Australien hin hat hier niedrigen Druck mit einem Minimum über Arabien und Nordindien. Die höheren Drucke liegen in breitem Gürtel südlich vom Äquator und buchten im Atlantischen Ozean bis zum Nordosten von Nordamerika und dem westlichen Europa aus. Ein kleineres Gebiet hohen Druckes liegt im Stillen Ozean nördlich vom Äquator. Südlich vom 40. Grad s. Br. liegt dann wieder ein kleiner Druck.

Wie wir später noch eingehender zu betrachten haben, steht die herrschende Windrichtung in engstem Zusammenhang mit dem Luftdruck. Wenn wir daher die unregelmäßigen Windwechsel durch Mittelbildung ausmerzen und Durchschnittswerte für ganze Monate bilden, so muß sich der durchschnittlichen Luftdruckverteilung auch ein System durchschnittlich herrschender Windrichtung anschließen. So herrscht im Januar am Atlantischen Ozean, südlich von Island, bis etwa 40° n. B., ein starker Westwind, der nach der europäischen Küste zu nach Norden umbiegt, d. h. Südwestwind wird, schließlich ganz nach links umbiegt und Island in großem Bogen umfließt. Eine ähnliche kreisförmige Luftströmung findet sich im Stillen Ozean durchschnittlich im Januar. In Ostindien herrscht im Januar ein nordöstlicher, trockener Wind, der Nordostmonsum, im Juli der regenbringende Südwestmonsum. Das Bemerkenswerteste aber sind die Passatwinde, welche in erstaunlicher Regelmäßigkeit nördlich und südlich vom Äquator zu beiden Seiten eines windstillen Gürtels (Region der Kalmen) das ganze Jahr hindurch fließen bis zu Breiten von 20°—30°. Der nördliche Passat weht von Nordost nach Südwest und heißt Nordostpassat, der südliche weht von Südost nach Nordwest und heißt der Südostpassat.

Von hervorragender Bedeutung für das Klima und das sog. Wetter sind die Niederschläge. Suchen wir auch hier einige allgemeine Züge heraus. Im Stillengürtel begegnen sich die wenn auch klaren, doch mit Wasserdampf beladenen Passate,

steigen unter dem Einfluß der tropischen Sonne in die Höhe und ergießen nun mit größter Regelmäßigkeit viele Stunden am Tage reichlichen Regen. Die Nächte sind meist klar. Wir finden hier erstaunliche Regenmengen, die im Jahre mehrere Meter, an der brasilianischen Küste bis über 7 m Regenhöhe ergeben. Die Passate sind über den Meeresflächen meist regenarm, geben aber da, wo sie auf Inseln stoßen und über den Kontinenten in die Höhe gedrängt werden, bedeutende Regenmengen ab. So setzt der Südostpassat bei seinem Wege über Brasilien, nach den Anden aufsteigend, ungemein große Wassermassen ab, die Fruchtbarkeit des Landes bedingend, und kommt als trockener Wind an der Westküste Südamerikas an. Die Höhen des östlichen Afrikas saugen die Wassermassen des Südostpassates ab und bedingen die Trockenheit des zentralen Afrikas. Vorderindien verdankt seine enormen Regenmengen im Sommer dem Südwestmonsum. Die regelmäßigen, vom bengalischen Busen kommenden feuchten Luftmassen geben am Südabhange des Himalaya Regenmengen ab, welche eine Jahreshöhe von über 12 m erreichen.

Eine andere Klasse von Niederschlägen sind die subtropischen Regen. Sie entwickeln sich an der Polarseite der Passate und erfolgen auf der nördlichen Halbkugel bei Südwest-, auf der südlichen bei Nordwestwind. Da sich die Grenze der Passate im Sommer und Winter verschiebt, haben die Orte, welche im Sommer im Passat liegen, trockenes Wetter, geraten nun aber im Winter außerhalb des Passates und haben jetzt Regen. Das Jahr teilt sich für diese Orte, was insbesondere an den Westküsten der Kontinente zur Erscheinung kommt, in eine trockene und eine Regenperiode.

Diese Regelmäßigkeiten der Niederschläge treten in den gemäßigten Zonen mehr und mehr zurück und die gesamten Regenmengen werden erheblich kleiner. Bis zum 10. Grad nördl. Breite beträgt die durchschnittliche Regenmenge nahezu 2000 mm, von 10—20° nur 950, von 20—30° 675, von 30—40° 555, von 40—50° 570, von 50—60° 550 und von 60—70° nur 370 mm.

So schließen sich nun die Ergebnisse tausender und abertausender von einzelnen Beobachtungen zu einem gesamten klimatischen Bilde der Erde zusammen, dessen Hauptzüge wir noch einmal kurz überblicken wollen. Der wechselnde Sonnen-

stand im Laufe des Tages bedingt den Anstieg der Temperatur und der absoluten Feuchtigkeit bis zum Mittag, die Kühle der Nächte und die Entwicklung der tropischen Regen zu bestimmten Tageszeiten. Die im Laufe des Jahres wechselnde Sonnenhöhe, in den Tropen von geringem Belang, macht sich bereits in den subtropischen Gebieten durch größere Perioden des Regens und der Trockenheit bemerkbar und ruft in höheren Breiten die bedeutenden Temperaturunterschiede der Jahreszeiten hervor, die insbesondere über den Kontinenten, wo die ausgleichende Kraft des Meeres fehlt, ihre höchsten Extreme erreichen. Das Gesamtklima wechselt mannigfach von Ort zu Ort, es hängt in erster Linie von der geographischen Breite, in zweiter Linie von der Nähe des Meeres und der Gebirge ab und gabelt sich in seinen Extremen einmal nach dem tropischen und dem gemäßigten Klima, andrerseits nach dem Meeres- und Binnenklima.

Tropisches Klima finden wir zwischen den Wendekreisen. Es ist ausgezeichnet durch eine mittlere Wärme von 20 bis 25 Grad. Eine Verschiebung der Passate und des Kalmengürtels bringt einen Wechsel von heiterem, glühend heißem Wetter und reichlichen Regenzeiten hervor. Im gemäßigten Klima sinkt die Durchschnittstemperatur bis auf Null Grad und darunter. Starker und unregelmäßiger Wechsel von Temperatur, Wind und Bewölkung ist hier die Regel, der gesamte Niederschlag ist kleiner. Das Meer- oder Küstenklima gleicht die Extreme der Jahreszeiten, die im Binnenklima zu höchster Entwicklung kommen, in einer dem Wohlbefinden der Menschen meist vorteilhaften Weise aus.

IV. Vortrag.

Die Bewegungsgesetze der Luft.

Am voraufgegangenen Abend versuchte ich darzulegen, wie man aus den meteorologischen Einzelbeobachtungen durch Mittelbildung zu einem durchschnittlichen Bilde der verschiedenen Klimate der Erde gelangt. Dem unregelmäßigen Wechsel des Wetters an den einzelnen Orten gingen wir dabei aus dem Wege. Heute wollen wir gerade diesem Wechsel und seinen Ursachen unsere Aufmerksamkeit zuwenden. Daß der veränderliche Wind die nächste Ursache des veränderlichen Wetters ist, begreift sich leicht. Sahen wir doch schon, daß der bedeutsame Unterschied des See- und Binnenklimas nur durch die Winde entstehen konnte, die über Meer oder Land streichend bald erwärmen, bald abkühlen, bald Regen, bald Trockenheit bringen. Bestimmte regelmäßige Windrichtungen waren es, die mit dem heiteren Himmel der Passatregionen oder mit den subtropischen Regengüssen verbunden waren. Den thermischen Anomalien der einzelnen Orte entsprechen gewöhnlich auch typische durchschnittliche Windrichtungen. Und so wie das Durchschnittsklima von durchschnittlichen Windrichtungen beeinflußt ist, fällt auch der jähe Wechsel des Wetters fast immer mit geänderter Windrichtung zusammen. Was ist die Ursache der Winde, woher ihr Wechsel, welches sind die Gesetze, die ihnen zugrunde liegen?

Zunächst läßt sich aus einer ganz allgemeinen Betrachtung leicht herleiten, daß der unerschöpfliche Urquell, der den Winden immer aufs neue ihre Existenz und Kraft gibt, die Wärmestrahlung der Sonne sein muß. Erinnern wir uns zu diesem Zwecke an das allgemeine und sicher begründete Naturgesetz von

der Erhaltung der Kraft oder besser der Erhaltung der Energie, wie es der Naturwissenschaft um die Mitte des vorigen Jahrhunderts von J. R. Mayer und H. v. Helmholtz offenbart worden ist. Energie heißt Arbeitsvorrat. Einen Arbeitsvorrat besitzt ein System von Körpern, wenn es imstande ist, andern Körpern Bewegung zu erteilen oder Kräfte zu überwinden, welche der Bewegung anderer Körper im Wege stehen, also z. B. eine ruhende Masse auf horizontaler Ebene in Bewegung zu setzen oder eine Masse der Schwerkraft entgegen zu heben. Das Maß der geleisteten Arbeit erhält man in dem einen Falle durch die sogenannte lebendige Kraft der sich bewegenden Masse, nämlich durch das halbe Produkt aus Masse und dem Quadrat der Geschwindigkeit, in dem andern Falle durch das Produkt aus der Größe der überwundenen Kraft mal dem Wege, den der bewegte Körper entgegen dieser Kraft zurückgelegt hat. Die Energie eines Systems A, welche imstande ist die eine oder andere Arbeit an dem System B zu verrichten, kann nun selbst wieder verschiedene Formen besitzen. Sie kann, um nur die Hauptformen zu nennen, mechanische, elektrische, chemische oder Wärmeenergie sein. Die mechanische Energie kann wiederum bestehen entweder in einem Bewegungszustand von A, d. h. sie kann in Form lebendiger Kraft gegeben sein und wird nun kinetische Energie genannt, oder sie kann in bestimmten Lagen der einzelnen Teile von A gegeneinander bestehen und sogenannte potentielle Energie sein, z. B. wenn eine Spiralfeder auseinandergezerrt ist, so besitzt sie potentielle Energie, ebenso ein hochgehobenes Gewichtsstück. In der Tat kann ja die Feder, indem sie sich zusammenzieht, oder das Gewicht, indem es fällt, dadurch an anderen Körpern Arbeit leisten. Ferner ist wohl jedem bekannt, daß man durch Reiben, d. h. durch mechanischen Arbeitsaufwand (Überwindung von Kräften), die geriebenen Körper und durch sie wieder andere erwärmen kann, daß man also mechanische Arbeit in Wärme verwandeln kann. Umgekehrt wird die Wärme des hochgespannten Dampfes einer Lokomotive verwandelt in Bewegung, es geht also Wärmeenergie in mechanische über, und wem wäre es nicht heutzutage geläufig, daß die mechanische Energie von Windmühlen oder Dampfmaschinen sich als elektrische Energie in den Akkumulatoren aufspeichern läßt und daß diese umgekehrt wieder andere Energieformen hervorbringen können. Mayer

und Helmholtz fanden nun, daß man diese verschiedenen Formen von Energie nach gemeinsamem Maße messen könne und daraus ergab sich ihnen das große Naturgesetz, daß überall, wo ein System von Körpern A Energie in irgend einer Form verliert, ein anderes System B ein gleich großes Quantum Energie in der einen oder andern Form gewinnt.

An der Hand dieses universellen Gesetzes wollen wir nun einmal eine Bilanz über Gewinn und Verlust der atmosphärischen Energie aufstellen. Die Masse der gesamten Atmosphäre läßt sich leicht berechnen, sie ist genau so groß wie diejenige einer die Erde bedeckenden Quecksilberschicht von 76 cm Dicke. Da die Erdoberfläche $5{,}1 \times 10^8$ qkm enthält, oder $5{,}1 \times 10^{18}$ qcm, so ist das Volumen jener Quecksilberschicht $5{,}1 \times 76 \times 10^{18}$ ccm, und da 1 ccm Quecksilber 13,6 mal mehr Masse hat als 1 ccm Wasser oder 1 g, so ist $13{,}6 \times 5{,}1 \times 76 \times 10^{18} = 5{,}27 \times 10^{21}$ g die Masse der Luft. Die Luft hat also die ungeheure Masse von $5{,}27 \times 10^{15}$ Tonnen oder über 5000 Billionen Tonnen, die Tonne zu 1000 kg gerechnet. Nehmen wir ferner an, daß die Luft durchschnittlich eine Geschwindigkeit von 10 m pro Sekunde hat, oder von 1000 cm pro Sekunde, so erhalten wir die kinetische oder Bewegungsenergie der Luft, wenn wir $\frac{1}{2} \times (1000 \times 1000) \times 5{,}27 \times 10^{21}$ ausrechnen. Das gibt $2{,}6 \times 10^{27}$. Um diese ungeheure Energiemenge zu würdigen, wollen wir berücksichtigen, daß die Energie, welche nötig ist, um 1 kg 1 m hoch der Erdschwere entgegen zu heben, in demselben Maße $1000 \times 100 \times 981$ also rund gleich 10^8 ist. Die Energie der Luft ist also noch $2{,}6 \times 10^{19}$ mal größer als die zum Heben eines Kilogramms um 1 m erforderliche Arbeit, d. h. wir würden, indem wir der Luft ihre Energie nehmen, damit 26 Trillionen (26 mit 18 Nullen) Kilogramm 1 m hoch heben können.

Nun ist klar, daß diese große Energie der bewegten Luft andauernd große Verluste erleidet. Einmal reiben sich die einzelnen Luftströme aneinander und verwandeln dabei die mechanische Energie in Wärme. Zum andern prallt die Luft an alle die Rauhigkeiten der Erdoberfläche, an Häuser, Bäume, Hügel und Berge und nicht zum wenigsten an die Wellenberge des Meeres. Auch hierdurch wird Energie verloren. Nach dem Mayer-Helmholtzschen Gesetz kann diese aber nicht spurlos verschwinden. Wo bleibt sie? Im ersten Falle tritt sie als Temperaturerhöhung der Luft auf. Da aber die Luft im Laufe der Jahrtausende

sich nicht merklich erwärmt und zugleich dauernd Wärme in den Weltraum auf Nimmerwiedersehen ausstrahlt, so geht jene Energie auf diesem Wege wirklich der Erde samt ihrer Lufthülle verloren. Der zweite an der rauhen Erdoberfläche verloren gehende Posten kinetischer Energie muß sich entweder in Wärme oder in vermehrter Bewegungsenergie des Erdkörpers wiederfinden. Letzteres ist erfahrungsgemäß nicht der Fall. Denn dann müßte die lebendige Kraft des festen Erdkörpers wachsen. Das findet aber nicht statt, denn seit mehreren tausend Jahren ist die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde unverändert, wie uns die Astronomie lehrt. Auch Schwankungen in der Lage der Erdachse sind in dieser Beziehung so gut wie nicht vorhanden. Daraus ergibt sich, daß die Stöße, welche die Luft und die Meeresströme dem Erdkörper geben, sich in Summa aufheben müssen. Daher verwandelt sich die Energie aller dieser Stöße in Wärme und diese geht durch Strahlung in den Weltraum verloren.

Wir sind nun am Ende unserer Schlüsse. Die bewegte Luft verliert andauernd kolossale Energiemengen. Das Kapital von Energie, das Erde und Luft besitzen, bleibt aber durch die Jahrtausende das gleiche. Folglich muß ein dauernder Ersatz der Ausgaben stattfinden und dies geschieht durch Einstrahlung der Sonnenwärme. Der umständliche Weg, auf dem wir eben zu dieser Erkenntnis gekommen sind, mag uns einen tieferen Blick in den Energiehaushalt unserer Erde gewähren. Wir werden uns mit seiner Hilfe nun auch auf dem umgekehrten Weg leichter orientieren, auf dem wir untersuchen wollen, wie sich die Sonnenenergie in Windenergie verwandelt.

Von der Stärke und Größe der Sonnenstrahlung geben uns nicht bloß unser direktes Gefühl, sondern auch die exakten Messungen der Physiker Aufschluß. Ohne hier auf die feineren Methoden solcher Messungen einzugehen, sei nur der einfachste Weg angedeutet, wie man zu bestimmten Zahlen über die eingestrahlte Sonnenwärme gelangt. Man denke sich eine Metallkapsel (Pyrheliometer) etwa in der Gestalt eines Kubikdezimeters mit Wasser also mit 1000 g gefüllt. Eine Seite dieses Würfels werde mit Ruß überzogen und den Sonnenstrahlen zugekehrt. Dann tritt völlige Auffaugung der Wärmestrahlen durch die berußte Fläche ein, das Wasser erwärmt sich, was mit Thermometern gemessen wird, und jedem Grad

Celsius entspricht dann eine Wärmemenge, die als Kilogrammkalorie bezeichnet ist oder 1000 Grammkalorien beträgt. Man findet auf diese Weise die Wärmemenge, welche jedem Quadratzentimeter in einer bestimmten Zeit zugeführt wird. Dieses Wärmequantum hat nun schon ein Stück von seiner ursprünglichen Größe verloren. Denn die Luftschichten, durch die es hindurch gegangen ist, haben ihm schon einen erheblichen Teil genommen. Aber durch geschickte Kombination von Messungen auf hohen Bergen und in der Ebene oder auch solchen bei verschiedenem Sonnenstand kann man rechnerisch aus den Versuchen ermitteln, wie viel Wärme außerhalb der Atmosphäre auf jedes Quadratzentimeter in der Zeiteinheit fallen würde. Auf diese Weise hat Herr Langley in Amerika gefunden, daß in jeder Minute 3 Grammkalorien auf den Quadratzentimeter einströmen. Berücksichtigt man noch, daß die Sonnenstrahlen nur immer einen Punkt der Erde senkrecht treffen, an allen übrigen aber schräg auffallen, so darf man als gesamte Auffangfläche der Erde nicht ihre halbe Oberfläche, sondern nur ihren Querschnitt rechnen. Dieser beträgt $1{,}28 \times 10^{18}$ qcm. In einer Minute empfängt die gesamte Erde daher eine Energiezufuhr von $3 \times 1{,}28 \times 10^{18} = 3{,}84 \times 10^{18}$ oder rund 4 Trillionen Grammkalorien. Die Energie einer Grammkalorie ist nun gleichwertig mit der Arbeit, die zum Heben von 427 g oder 0,427 kg auf 1 m Höhe erforderlich ist. Wir würden daher mit der Wärmemenge, welche in einer Minute von der Sonne geliefert wird $0{,}427 \times 4 = 1{,}7$ Trillionen Kilogramm 1 m hochheben können. Hatten wir also oben die momentan in der bewegten Luft enthaltene Energie auf 26 Trillionen Kilogrammeter beziffert, so würde in $\frac{26}{1{,}7}$, d. h. in etwa 15 Minuten soviel Energie durch Sonnenstrahlung erhalten werden, um der vorher ruhenden Luft ihren tatsächlichen Bewegungszustand zu geben. In anderer Weise ausgerechnet beträgt die Sonnenstrahlung soviel, um im Laufe eines Jahres einen Eismantel zu schmelzen, der in einer Dicke von 50 m die ganze Erde umgibt. Wir haben also in der Sonne eine Energiequelle, von der schon ein sehr kleiner Teil genügt, um die Entstehung der Luftbewegungen zu erklären und alle Reibungsverluste dieser Bewegung zu decken. Der größte Teil bleibt noch übrig, um den ungeheuren Wärmeverlust der Erde durch Strahlung in den Weltraum auszugleichen und die auch

noch nicht in Anschlag gebrachten Bewegungsgrößen der Meeresströme zu erklären.

Wie vollzieht sich nun die Umwandlung der Sonnenwärme in mechanische Bewegung der Luft? Denken wir uns zu diesem Zweck folgendes einfache Experiment gemacht. Zwei stehende Metallrohre *A* und *B* (Fig. 20) seien oben und unten durch Querröhren zu einem Viereck vereinigt. Erhitzen wir das eine Rohr *A*, so wird die Luft darin warm und da sie denselben Druck hat, wie die Luft in *B*, auch leichter als diese. In dem Querschnitt des unteren Verbindungsrohres wird daher von *A* aus ein kleinerer Druck ausgeübt, als von *B* aus; die Folge muß eine Luftbewegung sein, die in *A* aufsteigt und in *B* niedergeht und so lange anhält, als noch ein Temperaturunterschied zwischen *A* und *B* besteht. Dasselbe Experiment muß auch gelingen, wenn wir rings um *A* eine ganze Menge aufrechtstehender Rohre *B* anbringen und sie durch obere und untere Querröhren mit *A* verbinden.

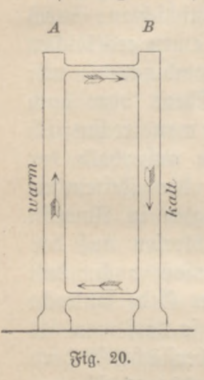
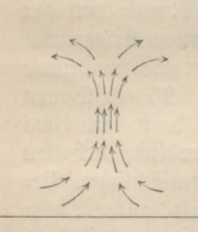


Fig. 20.

Schließlich können wir uns von den Metallröhren ganz frei machen und uns vorstellen, daß in einer ruhenden Luftmasse eine vertikale Luftsäule erwärmt werde. Was wird geschehen? Ebenso wie in *A* steigt diese Luft auf, unten strömt von allen Seiten kältere Luft zu und oben breitet sich die warme Luft aus (Fig. 21).


Fig. 21.

Die Sonne trifft nun stets einen Punkt zwischen den Wendekreisen senkrecht. Hier wird also die Erde am stärksten erwärmt, die darüber stehende Luft wird mit geheizt und wenn die Sonne still stände, müßte sich hier eine aufsteigende Luftsäule bilden, ganz wie in Fig. 21. — Da jedoch die Sonne in 24 Stunden rings um die Erde wandert, so wird der Gürtel, den sie hierbei senkrecht trifft, stärker erwärmt werden, als die weiter nördlich oder südlich gelegenen Zonen. Wir begreifen es daher leicht, daß sich über diesem meist erwärmten Gürtel aufsteigende Luftströme bilden müssen und daß vom

Norden wie vom Süden her an der Erdoberfläche Luft zuströmen muß, während in größerer Höhe Luft nach beiden Seiten abfließt. Was die Energieverwandlung hierbei betrifft, so beachte man, daß die aufsteigende Luft zugleich dünner wird, weil sie in der Höhe an Druck verliert. Hierbei sinkt aber die Temperatur und es geht daher ein Teil der erhaltenen Wärme für das Thermometer verloren, sein Äquivalent ist die entstandene lebendige Kraft der Bewegung und die Hebung der aufsteigenden Luft entgegen der Erdschwere.

Ihrem wesentlichen Charakter nach erklärt sich so die Entstehung des Kalmengürtels und die Entstehung der Passate, auf deren vom reinen Nord oder Süd abweichende Richtung wir nachher eingehen müssen.

Zunächst sei noch bedacht, daß sich ähnliche Luftzirkulationen, wie wir sie uns hier am Äquator konstruierten, oder wie sie die Fig. 21 zeigt, sehr wohl auch vorübergehend in anderen Breiten und besonders auch mit mehr lokalem, auf kleinere Gebiete beschränkten Charakter bilden können. Es genügt, wenn ein beliebiger abgegrenzter Bezirk von beliebiger Form, als langgestreckter Streifen oder mehr kreisförmige Fläche, aus irgend einer Ursache wärmer ist als die Umgebung. Die Luft strömt diesem Bezirke an der Erdoberfläche von außen zu und fließt oben von ihm weg: das Barometer wird an den warmen Zentralstellen dieses Bezirkes niedriger stehen als außerhalb, da ja die wärmere d. h. leichtere Luft über ihm lastet. Dies stimmt auch mit der Überlegung, daß die Bewegung der Luft notwendig von der Stelle höheren zu derjenigen kleineren Druckes stattfinden muß. Wird z. B. eine Insel im Ozean von der Sonne beschienen, so muß sich die Luftsäule über dem die Wärme begierig verschluckenden und dadurch warm werdenden Lande schneller heizen, als über dem kalt bleibenden Meere rings herum, wo die Wärmestrahlen von der Wasseroberfläche abprallen. Es entwickelt sich über der Insel ein aufsteigender Strom, an den Küsten herrscht Seewind, das Barometer steht auf der Insel ein wenig tiefer als rings herum. Oft unterbricht sich ein solcher Vorgang durch seine eigenen Wirkungen. Denn der aufsteigende sich abkühlende Strom setzt seinen Wassergehalt in der Höhe ab, bildet ein mächtiges Kumulus-Gewölk, das sich über der Insel lagert, die Sonnenstrahlung abfängt und damit die Fortdauer

des ganzen Vorganges unterbricht. Noch ein anderes Beispiel. Die Temperatur der Nordsee sei, wie dies im Winter leicht eintritt, höher als die Temperatur der umliegenden Länder. Die Luft über der See wird hierdurch wärmer, als ringsherum. Die Folge ist ein barometrisches Minimum über der Nordsee und zuströmende Winde von allen Seiten.

Es ist nicht schwer einzusehen, daß ganz ähnliche Luftzirkulationen, nur genau in umgekehrter Richtung, eintreten müssen, wenn die über einer Gegend liegende Luftsäule kälter ist als die weitere Umgebung. Diese kalte Luft sinkt dann, strömt unten an der Erdoberfläche nach allen Seiten fort und in höheren Schichten wird Luft zufließen. Hat sich z. B. über jener Insel im Ozean durch nächtliche Ausstrahlung des Landes die Temperatur stark erniedrigt, so wird am frühen Morgen, bevor die Sonne anfängt zu heizen, über der Insel ein absteigender Luftstrom vorhanden sein, der an den Küsten als Landwind zum Meere fließt.

Die ungleichmäßige Erwärmung oder Abkühlung der Erdoberfläche, besonders des festen Landes, erklärt sonach bereits in der Hauptsache die Entstehung von Winden. Von im ganzen geringerer Bedeutung, oft aber doch ausschlaggebend ist die Rolle, welche gleichzeitig der in der Luft vorhandene Wasserdampf spielt. An der Erdoberfläche verdunstet das Wasser der Flüsse, Seen und des feuchten Erdreichs unter Verbrauch von Wärme. Die Luft belädt sich mehr oder weniger mit Wasserdampf; steigt sie nun auf, so sinkt ihre Temperatur der Höhe entsprechend, der Sättigungspunkt wird erreicht und Kondensation tritt ein. Dabei wird nun plötzlich die Wärme frei, die zur Verdampfung unten verbraucht war, und die so entstehende Temperaturerhöhung befördert aufs neue den einmal eingeleiteten aufsteigenden Luftstrom. Daraus entnehmen wir, daß die Beladung der Luft mit Wasserdampf wesentlich mithilft bei jenen Luftzirkulationen, die sich um ein barometrisches Minimum abspielen und dem aufsteigenden Luftstrom eine längere Andauer sichert. In ähnlicher Weise verhält es sich bei einem niedergehenden Luftstrom. Derselbe ist schon an sich arm an Wasserdampf und indem er sich beim Herabsinken erwärmt, nimmt seine relative Feuchtigkeit noch weiter ab. Die Luft wird hier also wolkenlos sein und die dadurch beförderte nächtliche Ausstrahlung von

Wärme verlängert die Ursache des kalten absteigenden Luftstromes.

Sehen wir uns nun die Richtung der nach den erwärmten Gegenden hinfließenden oder der von den kalten wegfließenden Luft etwas genauer an, so stoßen wir auf die höchst merkwürdige Erscheinung, daß die Luft keineswegs auf kürzestem Wege zuströmt, sondern wie die Katze um den Brei herumgeht und im allgemeinen in Spiral- oder Wirbellinien herumläuft und sich so langsam der eigentlichen Auftriebsstelle nähert.

Um diese für die Gestaltung des Wetters sehr bedeutungsvollen Erscheinungen zu erklären, müssen wir die Umdrehung der Erde mit in Rechnung ziehen. Dazu erinnern wir uns des von Galilei gefundenen sogenannten Trägheitsgesetzes. Hiernach behält jeder in Bewegung begriffene Körper seine Geschwindigkeit und seine Bewegungsrichtung so lange unverändert bei, als nicht besondere Kräfte auf ihn wirken. Die Bewegung, von der in diesem Gesetze die Rede ist, ist die sogenannte absolute Bewegung, d. h. die Bewegung in bezug auf den als feststehend betrachteten Weltraum.

Wir denken uns für einen Augenblick, daß die Erdoberfläche vollkommen glatt etwa wie eine Eisfläche sei. Welchen Weg wird eine auf dieser Fläche fortrollende Kugel einschlagen? Die Mechanik lehrt, daß die Bahn stets eine gekrümmte ist und zwar biegt sie auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen Halbkugel nach links um. Die Stärke der Krümmung hängt von der geographischen Breite und von der Geschwindigkeit der Bewegung ab. Je näher nach dem Pol zu und je kleiner die Geschwindigkeit, um so stärker ist die Krümmung. In dem besonderen Falle, daß die Bahn über den Nordpol oder den Südpol führt, wird sie zu einem Kreise. Würde man also vom Nordpol aus auf horizontaler reibungsloser Fläche eine Kugel fortschleudern, so würde sie merkwürdigerweise wieder nach dem Ausgangsort zurückkommen. In allen andern Fällen sind die Bahnen keine in sich zurücklaufenden. Ohne uns hier auf eine exakte Herleitung einzulassen, läßt sich das wesentliche Ergebnis doch durch folgende Überlegung begreifen. Angenommen wir würfen von hier aus eine Kugel in genau nördlicher Richtung fort. Dieselbe besitzt dann in der Richtung nach Osten die Um-

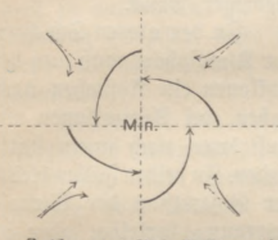
drehungsgeschwindigkeit unseres Ortes. Kommt sie nun bei ihrer Fortbewegung in merklich höhere Breiten, wo die Erdpunkte eine geringere absolute Geschwindigkeit besitzen, so muß unsere Kugel diesen Punkten offenbar in östlicher Richtung voraneilen, sie wird daher aus ihrer ursprünglichen rein nördlichen Richtung nach Osten, d. h. nach rechts abgelenkt. Würfen wir die Kugel genau südwärts, so käme sie in Breiten mit größerer Geschwindigkeit, sie muß also hier gegen die Erde zurückbleiben also nach West, d. h. wiederum rechtsläufig von der geraden Linie abgelenkt werden. Daß diese Rechtsablenkung nicht bloß für die genau südliche oder nördliche Richtung, sondern auch für alle dazwischen liegenden Richtungen eintreten muß, erkennt man so. Wenn wir die Kugel etwa genau ostwärts abwerfen, so würde ihre natürliche Bahn ohne Erddrehung die eines größten Kreises sein, der durch unsern Ort und seinen auf der südlichen Halbkugel gelegenen Gegenpunkt ginge. Auf diesem Wege gelangt die Kugel also in südlichere Breiten und bleibt hier wegen der größeren Umdrehungsgeschwindigkeit in westlicher Richtung hinter ihrer natürlichen Bahn zurück, muß also ebenfalls nach rechts abgelenkt werden. Ebenso konstruieren wir für die in genau westlicher Richtung abgeworfene Kugel eine rechtsläufige Bahn.

Was hier von einer auf glatter Ebene fortrollenden Kugel gilt, muß auch von den Luftmassen gelten, die irgendwo auf der Erdoberfläche in horizontale Bewegung geraten. Sie werden sich auf der nördlichen Halbkugel in rechtsläufiger Krümmung, auf der südlichen in linksläufiger weiter bewegen, so lange nicht neue, ablenkende Kräfte auf sie wirken.

Wenden wir dies Ergebnis zunächst auf die Passatwinde an! Die untere Luft nördlich und südlich des Kalmengürtels erfährt aus den oben geschilderten Ursachen einen Antrieb, direkt südlich bezw. nördlich zu fließen. Infolge der Erddrehung wird nun aber der nördliche Wind nach rechts abgelenkt und wird so zum Nordostpassat. Auf der südlichen Seite wird der Südwind nach links abgelenkt und wird so zum Südostpassat. Die in den höheren Schichten abfließende warme Luft muß auf der nördlichen Seite von Südwest nach Nordost, auf der südlichen Seite von Nordwest nach Südost strömen.

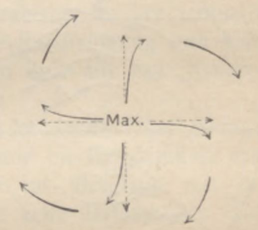
Etwas anders wird das Bild, wenn das erwärmte Zentrum, über dem der aufsteigende Luftstrom sich entwickelt, nicht wie bei

dem Kalmengürtel ein rings um die Erde laufender Streifen ist, sondern ein abgeschlossenes Gebiet, ein mehr oder weniger großer Flecken ist. Von allen Seiten erfährt die Luft einen Antrieb, nach dem Zentrum hinzufließen. Der Weg dahin wird aber wegen der Erddrehung nach rechts abgelenkt. Die einmal in Bewegung gesetzte Luft behält ihre Geschwindigkeit bei, aber sie läßt dabei das Zentrum, die Stelle des niedrigen Druckes und des aufsteigenden Luftstromes, links liegen. Immer neue Antriebe nach dem Zentrum zu erfolgen und verwandeln nunmehr die rechtsläufige Krümmung in eine linksläufige, das Zentrum im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers umkreisende. So muß sich also auf der nördlichen Halbkugel um jede Stelle niedrigen Barometerstandes ein gegen den Uhrzeiger rotierender



Zyklone (nördliche Halbkugel)

Fig. 22.



Antizyklone (nördl. Halbkugel)

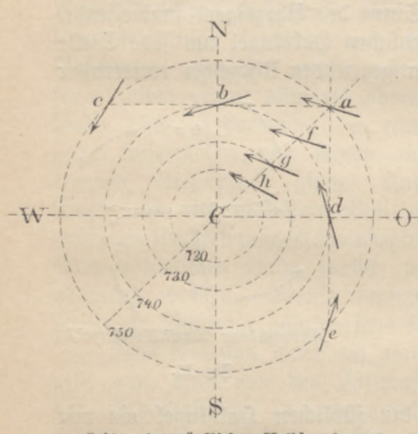
Fig. 23.

Luftwirbel herausbilden, auf der südlichen Halbkugel ein mit dem Uhrzeiger rotierender. Die Fig. 22 mag die Entstehungsweise dieser Wirbel, welche man Zyklone nennt, erläutern. Die punktierten Pfeile geben die ursprüngliche nach dem Zentrum zu gerichtete Bewegung, die gekrümmten daneben befindlichen zeigen die Ablenkung durch Erdrotation; die inneren Pfeile stellen die resultierende zyklonale Bewegung dar.

Von den Stellen eines niedergehenden kalten Luftstromes, zugleich den Stellen eines barometrischen Maximums, fließt die Luft an der Erdoberfläche radial nach außen weg. Dabei erfährt sie eine Rechtsablenkung und so muß sich, wie Fig. 23 erläutert, ein rechtsläufiger mit dem Uhrzeiger gehender Wirbel um jene Stelle bilden. Diese Luftbewegungen nennt man Antizyklone, wegen ihrer den Zyklonen entgegengesetzten Rotationsrichtung. Auf der südlichen Halbkugel ist die Rotation der Antizyklonen linksläufig.

Als ein den Zyklonen und Antizyklonen gemeinsames Gesetz ist von dem berühmten holländischen Meteorologen Buys Ballot das folgende sogenannte barische Windgesetz erkannt und ausgesprochen worden: Der Wind weht von den Stellen höheren Luftdruckes zu denen tieferen Druckes nicht auf der zu den Isobaren (Linien gleichen barometrischen Druckes) senkrechten Linie, sondern auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt (s. Fig. 24).

Eine andere Formulierung dieses Gesetzes ist: Stellt sich ein Beobachter so, daß er den Wind gerade im Rücken hat, so liegt rechts zur Seite etwas nach hinten hoher Druck, links zur Seite etwas nach vorn niedriger Druck.



Zyklon der nördlichen Halbkugel.

Fig. 24.

In den oberen Schichten der Atmosphäre muß nun bei Zyklonen ein Abfließen nach außen, bei Antizyklonen ein Zuströmen nach innen stattfinden. In beiden Fällen bleibt der Gesamtsinn der Wirbelbewegung derselbe, aber in den höheren Schichten wird der Wind umsomehr nach rechts abgelenkt, je weiter er vom Zentrum entfernt ist. Die genauere Herleitung dieser verschiedenen Windrichtungen muß die Änderung des Luftdruckes vom Zentrum der Wirbel nach außen hin und auch die verschiedene Reibung der Luftströme oben und an der Erdoberfläche berücksichtigen. Wir wollen hier diese schwierigeren Fragen beiseite lassen und uns mit dem theoretisch begründeten und durch Beobachtungen bestätigten Ergebnis begnügen, daß der Wind umsomehr rechts dreht, je höher wir aufsteigen. Haben wir also unten beispielsweise W-Wind, so finden wir meist in einigen 1000 m NW-Wind; ist unten O-Wind, so ist oben SO-Wind.

Was die Stärke der zyklonalen oder antizyklonalen Luftströme betrifft, so zeigt sich, daß erstere in der Regel die heftigeren sind. Die Abnahme des Luftdruckes nach dem

Zentrum zu ist bei ihnen entsprechend eine schnellere. Man kann dies zur Anschauung bringen, indem man für einen bestimmten Zeitpunkt die rings um eine Zentralstelle vorhandenen Barometerstände aufsucht und nun auf einer Karte die Isobaren konstruiert, d. h. Linien zieht, die alle Punkte gleichen Luftdruckes verbinden. Man erhält so ringförmig geschlossene, das Zentralgebiet des Zyklones umgebende Kurven (s. Fig. 24). Je näher diese Kurven, die man gewöhnlich von 5 zu 5 mm Barometerstand zeichnet, aneinander liegen, desto schneller nimmt in der Richtung nach innen der Luftdruck ab, desto größer ist der sogenannte Gradient. Man versteht unter dem Gradienten die Abnahme des Barometers auf eine bestimmte Entfernung, z. B. auf 111 km = 1 Äquatorgrad. Wir können uns daher auch so ausdrücken: Je größer der Gradient, in der zentralen Richtung gemessen, desto stärker ist die Luftströmung und desto mehr fällt die Richtung der wirbelnden Luft mit den Isobaren zusammen.

Fassen wir das über diese Luftströmungen bisher Gesagte übersichtlich zusammen, so sehen wir, wie die Erwärmung oder Abkühlung einer vertikalen Luftsäule im Vergleich mit der näheren oder weiteren Umgebung die erste Ursache der Entstehung von Winden ist und wie durch die Erdumdrehung hieraus zyklonale oder antizyklonale Windsysteme hervorgehen müssen. Für die Luftzirkulation über der ganzen Erde folgen hieraus bereits die Hauptzüge. In den Tropen windet sich rings um die Erde der Kalmengürtel mit seinem kräftig aufsteigenden Luftstrom. Zu beiden Seiten etwa bis über die Wendekreise fließen an der Erdoberfläche die beiden Passate mit großer Gleichmäßigkeit herzu und bilden um den Stillengürtel einen großen zyklonalen Wirbel. Denn der Nordostpassat hat den letzteren zur Linken, der auf der südlichen Hemisphäre wehende Südostpassat hat ihn zur Rechten. Das Minimum des Barometers liegt am Äquator, das Maximum etwa auf dem 30.—35. Breitengrade, den sogenannten Roßbreiten. In der Höhe fließt auf der nördlichen Halbkugel die warme Luft als Südwestwind nach Nordost ab, mehr und mehr in Westwind übergehend und in den Roßbreiten sich senkend setzt sie sich mit der Unterströmung des Passates auf jeder Halbkugel zu einem großen antizyklonalen Wirbel zusammen. In den höheren Breiten mit ihren unregelmäßigeren und stärkeren Tem-

peraturwechseln entwickeln sich je nach den Eigenheiten beschränkterer Gebiete zyklonale oder antizyklonale Winde. Die großen Festlandsgebiete erzeugen im Sommerhalbjahr die ersteren, im Winter vorzugsweise die letzteren. Über den Meeren geben die polwärts abfließenden warmen Oberflächenströme im Winter zu Zyklonen, im Sommer, wo ihre Temperatur von derjenigen der angrenzenden Länder übertroffen wird, zu Antizyklonen Veranlassung. Vielfach veränderlich ist hier die Windrichtung. Im Durchschnitt des Jahres herrschen westliche Winde vor und dem entspricht auch, daß sich die Polargegenden durch ihren durchschnittlich niedrigeren Barometerstand als das Zentralgebiet eines großen Zyklones darstellen. Das barische Windgesetz hat also nicht bloß für den momentanen Zustand einer gerade bestehenden Luftzirkulation, sondern auch für die im Durchschnitt berechneten Winde und Wetterzustände seine Gültigkeit.

Zyklone und Antizyklone sind, wie schon angedeutet, auch durch sogenanntes schlechtes und gutes Wetter voneinander unterschieden. Dieser Beziehung wollen wir indessen erst im nächsten Vortrag näher treten. Zunächst wirft sich die Frage auf, ob die zyklonischen und antizyklonischen Luftzirkulationen an dieselbe Gegend gefesselt bleiben, der sie ihren Ursprung verdanken, oder ob sie einmal gebildet, nicht auch als Ganzes eine fortschreitende Bewegung haben können. In der Tat ist dies letztere die Regel, obwohl auch vielfach Zyklonen oder Antizyklonen tagelang über derselben Gegend stehen bleiben können.

Es erscheint nun auf den ersten Blick auffallend, daß diese Wirbelbewegungen, deren Entstehung durch lokal bedingte auf- oder absteigende Luftströme bedingt war, von der Stätte ihrer Geburt überhaupt fortgehen können. Bedenken wir aber, daß eine solche einmal vorhandene mächtige, in sich zurücklaufende Luftbewegung schon nach dem Trägheitsgesetze eine gewisse Andauer haben muß und erinnern wir uns ferner, daß sowohl die Zyklone wie die Antizyklone die Bedingungen zu ihrer Fortdauer in gewissem Maße immer neu erzeugen, so wird es begreiflich, daß die einmal entstandenen Wirbel sich sehr wohl über weite Länder und Meere als Ganzes fortschieben können, ohne ihre Eigenart zu verlieren. Das Zentralgebiet des Wirbels kann sich dabei erweitern, aber auch verengern. Das

letztere tritt insbesondere bei den Zyklonen ein und die mit der Verengerung des Zentrums wachsende Windgeschwindigkeit artet in Stürme von furchtbarer Gewalt aus. Mit dem Wort Zyklon bezeichnet man auch wohl speziell diese gefürchteten, auf engen Raum beschränkten Wirbel. Andere Namen dafür sind Taifun, Tornado, Hurrican, Trombe.

Die Bedingungen, unter denen diese besonderen zyklonalen Stürme zustande kommen, sind nun zwar im allgememeinen schon dargelegt. Es tritt aber noch ein anderer Vorgang von wesentlicher Bedeutung hinzu, dem wir nun unsere Aufmerksamkeit schenken wollen. Es ist dies die natürliche oder normale, oder, wie man sie auch nennt, die adiabatische Temperaturabnahme nach der Höhe zu. Adiabatisch heißt undurchlässig und soll mit Bezug auf Wärme bedeuten, daß die zu betrachtende Luft keinerlei Wärmeaustausch mit den benachbarten Luftschichten erfahre. Wie wird sich die Temperatur unter dieser Bedingung ändern, wenn wir ein so gegen Wärmeaustausch abgeschlossenes, etwa in leicht elastischer Hülle gedachtes Luftquantum, von der Erdoberfläche aus langsam in die Höhe führen und den Druck immer genau gleich mit dem Drucke der benachbarten Luft halten. Diese Luft dehnt sich, je höher wir mit ihr kommen, immer mehr aus. Zugleich gewinnt sie an mechanischer Energie, da sie sich weiter vom Erdmittelpunkt entfernt, ebenso wie ein Gewichtsstück, das in eine höhere Lage gebracht wird. Diesem Energiegewinn muß ein Energieverlust gegenüberstehen und den letzteren finden wir in der Temperaturabnahme der sich ausdehnenden Luft. Auf Grund solcher Überlegungen läßt sich nun ganz genau berechnen, wie die Temperaturabnahme des in die Höhe geführten, vor jedem Wärmeaustausch geschützten, dem abnehmenden Drucke dagegen sich anpassenden Luftquantums sein müßte. Es ergibt diese Rechnung, daß auf jede 100 m Steigung eine Temperaturabnahme von nahezu 1^0 C stattfinden muß. Denken wir uns nun, daß die gesamte auf der Erde ruhende Luft genau nach diesem Gesetze nach oben zu kälter würde. Innerhalb dieser ruhenden Luft wollen wir langsam jenes abgeschlossene und sich ausdehnende Quantum Luft in die Höhe führen. Dann ist klar, daß letzteres überall denselben Druck und auch dieselbe Temperatur wie seine ruhenden Nachbarschichten erhält. Es wird sich also in keiner Beziehung von

seiner Nachbarschaft unterscheiden und daher überall im Gleichgewicht mit jener sein. Anders ausgedrückt können wir sagen, daß in einer ruhenden Luftmasse, deren Temperaturabnahme nach oben dem adiabatischen Gesetz entspricht, eine Verschiebung von Luftmassen, sei es nach oben oder nach unten, ohne die geringste Arbeitsleistung möglich ist. Dieser Zustand der Luft stellt daher ein sogenanntes indifferentes Gleichgewicht dar. Wir können jede beliebige Verschiebung vornehmen, immer bleibt Gleichgewicht vorhanden. Die adiabatische Temperaturabnahme beträgt auf 10000 m bereits 100° C.

Nehmen wir jetzt einmal an, daß in Wirklichkeit eine geringere Temperaturabnahme stattfinde, daß also z. B. auf 10000 m Höhe die Temperatur nur um 50° niedriger sei, wie dies in der Tat durchschnittlich der Fall ist, so können wir leicht einsehen, daß eine solche Luft in stabilem Gleichgewicht ist. Denn wenn wir in ihr wiederum ein gegen Wärmeaustausch geschütztes Luftquantum in die Höhe führen wollten, so wäre die Temperatur desselben kälter als die der benachbarten Luftschichten, und es würde auf diese Weise ein Antrieb entstehen, daß das in die Höhe gebrachte Luftquantum als kältere Luft niedersänke, also der anfängliche Zustand wiederhergestellt würde. Das ist eben das Kennzeichen stabilen Gleichgewichtes, daß jede Störung Kräfte entfaltet, welche diese Störung wieder rückgängig zu machen suchen.

Wie steht es nun in dem anderen Falle, daß die Temperatur nach oben zu schneller abnimmt, als dem normalen oder adiabatischen Zustand entspricht. Bringen wir jetzt ein Luftquantum wieder nach oben, so bleibt es warm gegen seine Nachbarschichten und gewinnt dadurch einen Antrieb, der es statt wieder in die alte Lage zurück, im Gegenteil immer stärker in die Höhe treibt. Das ist der Zustand eines labilen Gleichgewichtes. Er muß also eintreten, wenn die oberen Luftschichten im Verhältnis zur adiabatischen Temperaturabnahme zu kalt, oder was dasselbe ist, wenn die unteren Luftschichten zu warm sind. Ein solcher labiler Gleichgewichtszustand der Luft enthält, wie man sich auch ausdrücken kann, eine bedeutende Wärmeenergie, die sich auf den leisesten Anstoß hin in die mechanische Energie wild bewegter Luft umsetzen kann.

Da sowohl die unten aus ihrer labilen Lage aufgerüttelte Luft nach oben schießt, als auch die oben kalte Luft, einmal

ins Sinken gekommen, immer mehr nach unten zu getrieben wird, so wird der Gesamteffekt einer Störung des labilen Gleichgewichtes darin bestehen, daß ein Teil der Luft gehoben wird, ein anderer sinkt. Eine Revolution in wahrem Sinne des Wortes tritt also ein. Dieselbe könnte sich so vollziehen, daß die kalte absteigende Luftsäule das Zentrum bildet und ringsherum warme Luft aufsteigt. Also unten Abfluß nach außen, oben Zufluß zum Zentrum. Das führt, wie wir wissen, zum Wirbelsystem eines Antizyklones. In diesem Falle ist das Zentrum meist ausgedehnt und die Stärke der Luftbewegung gering. Wenn dagegen im Zentrum die aufsteigende Luft ist, während die kalte Luft in weiterem Umkreis niedersinkt, so entsteht eine zyklonale Bewegung mit verhältnismäßig kleinem Zentrum und außerordentlich heftigen, linksläufig um dasselbe wehenden Stürmen. Das sind in der Tat die Verhältnisse, die bei den Wirbelstürmen, besonders der heißen Zone, vorliegen. Die Sonnenstrahlen durchdringen die klare Luft der Höhen, ohne dieselbe merklich zu erwärmen, erhitzen dagegen die Erdoberfläche und damit die unteren, dieser anliegenden Luftschichten. Findet dieser Vorgang bei wenig bewegter Luft in gleichmäßiger Weise über weite Gebiete ausgedehnt, statt, so kann die Luft in Ruhe bleiben und unten so warm werden, daß jener labile Gleichgewichtszustand eintritt. Es genügt dann, wenn durch geringfügige Ungleichheiten an irgend einer Stelle der aufsteigende Strom eingeleitet wird um nun den ganzen weiteren Bezirk mit sich fortzureißen.

Im Lichte dieser Erklärung wird es nun auch leichter verständlich, daß das Zentrum eines Zyklones auf der Erdoberfläche fortwandert. Mit oft bedeutender Schnelligkeit windet es sich durch das ganze Gebiet des labilen Gleichgewichtszustandes der Luft hindurch. Die Bahn, welche das Zentrum verfolgt, ist im wesentlichen durch die Regel bestimmt, daß das Gebiet hohen Luftdruckes zur Rechten bleibt. Im übrigen scheinen die besonderen Eigenheiten der Gegend, in der der Zyklon entsteht, bestimmte Bahnen vorzuzeichnen.

So pflegen die westindischen Hurricans in den Monaten Juli bis Oktober über dem Ozean in der Gegend des 10. Breitengrades zu entstehen, sie wandern erst in westlicher Richtung, biegen an der amerikanischen Küste nach Norden und alsdann nach Nordosten um, wo sie im Bereich des Golfstromes als

Hatteras Zyklone bekannt sind. Ähnlich verhalten sich die Taifune an der Ostküste Chinas (Mai bis November), die besonders kleinen Durchmesser und ungeheure Heftigkeit der Bewegung besitzen. Auf der südlichen Halbkugel im Indischen Ozean biegt die Bahn aus der westlichen Richtung links nach Süden um und geht dann wieder ostwärts. Die so entstehenden parabolischen Bahnen sind auf beiden Halbkugeln nach Osten geöffnet. Im Golf von Aden ist die Bahn dieser zur Zeit des Monsunwechsels (Juni) auftretenden Zyklonen westwärts, im arabischen und bengalischen Golf (April bis Mai und September bis November) nordwestwärts oder nordwärts gerichtet.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, welche natürlich nur aus mehreren glücklich kombinierten Schiffsbeobachtungen erschlossen werden kann, ist sehr verschieden. Es sind schon Geschwindigkeiten beobachtet, in denen mehr als 2000 km in 24 Stunden zurückgelegt wurden.

Die Kenntnis der wirbelförmigen Natur dieser gefürchteten Stürme und die Unverbrüchlichkeit des Gesetzes ihrer Rotationsrichtung ist für den Schiffer von unschätzbarem Werte geworden. Denn nunmehr vermag er aus der fortlaufenden Beobachtung des Barometers und der Änderung der Windrichtung auf die Bahn des Wirbelsturmes und den Ort seines gefährlichen Zentrums zu schließen und kann versuchen, ihm zu entfliehen, oder, wenn hierzu die Geschwindigkeit des Schiffes nicht ausreicht, wenigstens über den richtigen Bug beizudrehen.

Zur Erläuterung diene Fig. 24. Die Windrichtungen um den Zyklon sind durch Pfeile gezeichnet. Das Schiff sei in *a* und bemerke das Herannahen des Zyklones. Dreht nun der Wind im Sinne von *a*, *b*, *c* bei langsam fallendem Barometer, so geht der Zyklon von W nach O; dreht der Wind im Sinne *a*, *d*, *e*, so geht der Zyklon nordwärts; bei nur geringer Rechtsdrehung des Windes *a*, *f*, *g*, *h*, gleichzeitiger Stärkezunahme und schnellem Fall des Barometers rückt das Zentrum gerade auf das Schiff zu.

Zyklonische Wirbel von geringerer Ausdehnung und meistens von sehr viel kürzerer oft nur nach Minuten zählender Lebensdauer sind die Böen. Sie bilden sich innerhalb eines größeren zyklonalen Gebietes und rotieren in derselben Richtung

wie dieses. Solche Böen sind die Tornados in Nordamerika, die sich an dem Rande der größeren zyklonalen Gebiete vorfinden und Luftwirbel von wenigen 100 m Durchmesser, aber außerordentlicher Heftigkeit sind.

Den kleinsten Wirbeln von wenigen Metern Breite, die als Windhosen, Wasserhosen, Tromben bekannt sind, kommt gleichfalls eine ungeheure Zerstörungskraft zu, welcher die stärksten Bäume nicht standhalten. Insbesondere tritt hier die Vehemenz des zentralen aufsteigenden Luftstromes hervor. Wie ein finsterer dunkler Trichter hängen sie schlauchförmig aus den Wolken herab, Regen, Hagel und Blitze entsendend und oft sprungartig über die Erdoberfläche hüpfend. Ihre Rotationsrichtung ist keineswegs immer die zyklonale. Im allerkleinsten und bereits harmlosen Zustande sieht man dieselben als Staubwirbel den Gewittern voraufgehen. Labile Gleichgewichtszustände der Luft sind hier durchweg die alleinigen Entstehungsursachen.

Wir wollen nun noch einigen besonderen Windarten unsere Aufmerksamkeit schenken, zu deren Erklärung die vertikale Gliederung der Erdoberfläche, d. h. die Gebirge, von wesentlichem Belang ist.

Hierher gehört zunächst der Föhn, unter welchem man die an der Nordseite der Alpen häufig auftretenden auffällig warmen und trockenen Südwinde versteht, deren Temperatur sogar im Winter auf 15° und darüber steigen kann. Der Volksmund kennzeichnet sie als „Schneefresser", wenn sie im Frühling, als „Traubenkocher", wenn sie im Herbste wehen. Es lag nahe, den Ursprung dieser Winde in der Sahara zu suchen und sie als einen Ausläufer des Scirocco aufzufassen, jenes in den Mittelmeerländern bekannten heißen und trockenen afrikanischen Wüstenwindes. Oder nach anderer Deutung konnte man in ihnen jene über dem Kalmengürtel aufsteigende und in den Roßbreiten sich senkende warme Luftströmung vermuten. Aber schon der Umstand, daß jenseits des Gebirges gleichzeitig Niederschläge stattfinden und daß auch derselbe auffällig warme Wind mitunter am Südabhange der Alpen als Nordwind beobachtet wird, mußte Zweifel erwecken. Die richtige Erklärung ist folgende: Nehmen wir an, daß eine irgendwie hervorgerufene Luftströmung an einem Gebirge aufsteigt und auf der andern Seite wieder heruntergeht, so muß, abgesehen von den besonderen Einflüssen des Wasserdampfgehaltes und abgesehen

von einem Wärmeaustausch mit dem Erdreich, beim Aufstieg eine Temperaturabnahme und beim darauffolgenden Niedergang eine Temperaturzunahme erfolgen, die für jede 100 m 1° C beträgt, wie wir oben gesehen haben. Die Luft würde also auf der anderen Seite des Gebirges ebenso warm in der Ebene ankommen, wie sie ursprünglich war. Wenn sie nun aber beim Aufstieg Wasserdampf hielt, so kondensiert sich dieser an der Luvseite des Gebirges, es fällt hier Regen und die frei gewordene Wärme des Dampfes geht mit der nunmehr trockenen Luft über den Kamm des Gebirges hinüber, so daß die dort herabsinkende Luft wärmer und trockener als die ursprüngliche wird. Noch ausschlaggebender für die Eigenart des Föhn ist der Wärmeaustausch am Erdreich. Ruhende oder langsam über das Gebirge ziehende Luft wird vom Erdreich merklich angewärmt. Die Temperatur nimmt im Gebirge durchschnittlich nicht 1° pro 100 m, sondern nur etwa einen halben Grad ab, sie ist also auf einem Hochgebirge von beispielsweise 3000 m um $\frac{30}{2} = 15$ Grad wärmer, als sie es nach dem oben besprochenen adiabatischen Temperaturgesetz sein sollte. Wenn diese „zu warme" Luft des Hochgebirges nun so schnell ins Tal gesogen wird, daß sie unterwegs keinen merklichen Wärmeaustausch mit dem Erdreich erfährt, so muß sie unten auch mit einem Wärmeüberschuß von 15° ankommen. Wir brauchen also nur Umschau zu halten, ob nicht beim Ausbruch des Föhn vielleicht eine saugende Kraft vorhanden gewesen ist, welche die Höhenluft schnell in die Täler zieht. Das ist nun in der Tat immer der Fall. Wenn nordwestlich der Alpen vom Ozean her ein Gebiet niedrigen Luftdruckes mit zyklonaler Bewegung heranrückt, so wird, wie wir wissen, die untere Luft nach dem Zentrum des Wirbelgebietes hingezogen. Sobald diese Luftzirkulation den Fuß der Alpen trifft und die Luft dort absaugt, sinkt die Bergluft schnell herab und erscheint als Südföhn. Ein Minimum südlich der Alpen gibt ebenso dem Nordföhn seinen Ursprung. Dieselbe Erklärung findet auch auf den Scirocco Anwendung, freilich nicht auf den in Italien und dem östlichen Mittelmeer so genannten warmen Südwind, dessen Gegensatz der erfrischende nördliche Tramontana ist, sondern auf den von den Höhen des Atlas über die algerische Küste brausenden, glühend heißen und trockenen Gebirgswind.

Der Grundcharakter des an den steilen Alpenabhängen ganz besonders auffälligen Föhn ist übrigens auch bei den Winden vieler anderer Gebirge nachgewiesen — Regen an der Luvseite, warme trockene Luft an der Leeseite.

Wesentlich anders verhält es sich mit der Bora, dem kalten, vom Gebirge abstürzenden Winde, wie er sich besonders auffällig an den Ostküsten des Adriatischen und des Schwarzen Meeres zeigt. Die Vorbedingung hierzu sind ausgedehnte Hochplateaus des Gebirges mit steil und tief abfallenden Rändern. Die Luft über dem Hochplateau möge zunächst ruhen und möge etwa durch Ausstrahlung stark abgekühlt sein. Dabei mögen die unteren Schichten über dem Plateau so kalt geworden sein, daß ihr Temperaturunterschied gegen die Luft über dem Meere mehr beträgt als der adiabatische Höhengradient (1^0 pro 100 m). Dies würde, wie wir wissen, eigentlich einen labilen Gleichgewichtszustand bedeuten, wenn jene obere kalte Schicht senkrecht über der unteren warmen Schicht läge. Allein da erstere auf dem Hochplateau lastet, so wird sie durch dasselbe gewissermassen gestützt und tatsächlich herrscht noch stabiles Gleichgewicht, was beliebig lange währen kann. Schiebt sich nun aber die kalte Höhenluft bis über den Rand des Hochplateaus, so stürzt sie in die Tiefe. Dabei erwärmt sie sich zwar nach dem Temperaturgesetz um je 1^0 C auf 100 m Abstieg. Aber das reicht nicht aus, um sie bis auf die Temperatur der unteren Tiefebenenluft zu bringen. Sie wird hier also in diese warme Luft als kalter aus der Höhe kommender Wind einfallen. Hiermit erklären sich nun leicht die beim Auftreten einer Bora beobachteten Erscheinungen. Am Fuße des Gebirges an der Meeresküste ist es warm bei klarem Himmel, über dem Gebirge ist die Luft klar und kalt. Nun beginnen sich weiße Wölkchen an den Bergspitzen zu bilden. Die Luft gerät in Unruhe. Nach einiger Zeit reißen sich einzelne Wolken los und steigen in die Tiefe, auf der Hälfte des Weges lösen sie sich auf. Denn der kondensierte Wasserdampf entstammt ja nicht der Höhenluft, sondern wird nur durch die kalte Berührung mit dieser aus der warmen von unten aufgewirbelten ausgeschieden. Mit unglaublicher zerstörender Kraft stürzen sich die Wirbel hinab. Wie dichter salziger Nebel erfüllt das aufgepeitschte Meerwasser die Luft und bedeckt alle Gegenstände mit einer Eiskruste. Dieselbe

Natur haben die in der Provence als Mistral bekannten Winde.

Diese zuletzt betrachteten Fallwinde und ihre Erklärung mögen uns zugleich ein Beispiel dafür sein, wie die lokalen Besonderheiten einer Gegend sich mit den allgemeineren Ursachen der Luftbewegung vermischen und so die mannigfaltigsten und verwickeltsten Vorgänge herbeiführen können. Mit Hilfe jener allgemeinen Gesetze, der Sonneneinstrahlung, der nächtlichen Abkühlung, der Erdrotation, dem Temperaturgesetz der Luft und den Kondensationsgesetzen des Wasserdampfes konnten wir eine Erklärung für alle die großen und allgemeinen Züge der gesamten Luftzirkulation der Erde und auch für viele besondere lokale Vorgänge finden. Das möge uns aber nicht zu der Meinung verführen, als ob wir nun mit denselben Gesetzen immer imstande wären, vorher zu berechnen, wie sich aus einem heute gegebenen Zustand der Atmosphäre morgen ein anderer entwickeln wird.

V. Vortrag.

Die Wettervorhersage.

Das Interesse, zu wissen, wie das kommende Wetter wird, ist ein großes und allgemeines. Der Landmann ist fast täglich mit seinen Arbeiten vom Wetter abhängig. Wieviel zweckmäßiger könnte er oft seine Anordnungen treffen, wenn er genau wüßte, ob es trocken bleiben wird oder nicht. Der Schiffer möchte oft wissen, wohin der Wind drehen wird, er würde seine Reise verschieben oder beschleunigen, wenn er einen Sturm oder eine Windstille vorhersehen könnte. Für zahlreiche gewerbliche Arbeiten und nicht am wenigsten für unser Vergnügen und unsere Erholung im Freien und auf der Reise wäre es von unschätzbarem Werte, das Wetter vorher zu wissen. Das Wetter aber wechselt beinahe unaufhörlich in unseren Breiten. Wetterwendisch ist ja die Bezeichnung für etwas unberechenbar Schwankendes. Nur in den Tropen treten gewisse Wetterwechsel, z. B. das Einsetzen und Aufhören der Regengüsse in den Kalmen mit so großer Regelmäßigkeit ein, daß man dies mit größter Sicherheit auch für den kommenden Tag vorhersagen kann. In diesen Fällen ist die Wettervorhersage ebenso einfach, als wenn man im Februar eine Wärmezunahme des nächsten Monats vorhersagen wollte. In den Gegenden des unaufhörlich wechselnden Wetters entsteht vielmehr die schwierigere Aufgabe, aus einem gegebenen Wetterzustande heraus auf Grund der allgemeinen Gesetze das Wetter abzuleiten, was sich aus ihm entwickeln muß.

Da die alten Kulturvölker alle jene physikalischen Grundgesetze, die wir an den voraufgehenden Abenden kennen lernten,

so gut wie gar nicht kannten, waren sie auch nicht imstande, auf dem eben angedeuteten Wege eine Wettervorhersage zu machen. Zufällig war alles, oder nur anders ausgedrückt, die Götter machten nach ihrem Willen und ihrer Laune das Wetter. Und so wie man Jupiters Zorn in Blitz und Donner, die Strafe Apolls in den versengenden Strahlen der Sonne erkannte, glaubte man auch durch wohlgefällige Opfer und Gebete gutes Wetter erflehen zu können. Freilich war den Alten der regelmäßige Lauf der Gestirne und die gesetzmäßig wechselnde Stellung von Sonne, Mond und Planeten bekannt und sofern die Götter in diesen personifiziert waren, war es der glühenden Phantasie ein leichtes, die Konstellationen des gestirnten Himmels in Beziehung zu dem wechselnden Wetter zu bringen. So sollten dem Sternbilde des Widders Hagel, Schnee und Wolken, dem Stiere Regen und Wind folgen, Zwillinge und Löwe brachten trockenes Wetter, die Jungfrau und der Wassermann Regen, der Steinbock Kälte und Eis. Erschien Jupiter, so gab es Gewitter, trat Venus in das Zeichen des Widders, so folgte Sturm und Ungewitter. Man las also aus den Sternen das künftige Wetter ebenso wohl wie das Schicksal der Menschen.

Ich brauche nun wohl kaum zu sagen, daß diese Art der Wettervorhersage und dieser Glaube einer etwaigen Beeinflussung des Wetters mit der Wissenschaft nichts gemein hat. Freilich ist wohl bisweilen die Frage aufgeworfen, ob nicht vielleicht die Erde bei ihrer schnellen Flucht durch das Weltall gelegentlich in Räume ganz besonders niedriger Temperatur geraten könne und ob nicht dadurch die Wärmeausstrahlung und mit ihr das Wetter sich ändern könne. Sehr wahrscheinlich ist diese Hypothese nicht; jedenfalls ist sie durch keinerlei sichere Beobachtungen irgendwie bestätigt und es ist nicht zuviel gesagt, wenn wir den Glauben an einen Einfluß der Gestirne auf das Wetter als ein reines Spiel der Phantasie bezeichnen.

Die von den einzelnen Sternen uns zugestrahlten Wärmemengen entziehen sich durchweg einer direkten Messung und auch ihre sonstigen physikalischen Einwirkungen durch Massenanziehung oder elektrische Kräfte sind auch durch die feinsten Instrumente nicht direkt meßbar; sogar mit den uns nächsten Planeten, der Venus, dem Merkur und Mars ist es nicht

merklich anders. Aber vielleicht käme der Mond in Betracht? Denn, wenn die Sonne mit ihrer Wärmestrahlung alle die gewaltigen Umwälzungen der Atmosphäre allein hervorruft, so wäre es ja doch denkbar, daß der Mond, der zwar winzig klein gegen die Sonne und außerdem eiskalt ist, doch wegen seiner größeren Erdnähe, die nur 60 Erdhalbmesser beträgt, wenigstens soviel Einfluß hätte, um für gewisse Wetteränderungen in Betracht zu kommen. Wir wissen sogar ganz bestimmt, daß die gewaltige Energie, welche in der Ebbe und Flut der Meere steckt, lediglich durch den Mond bedingt wird. Sollte der Mond daher nicht imstande sein, die viel leichter bewegliche Luft in derselben Weise in Bewegung zu setzen? Oder sollte er nicht, wenn er als Vollmond die Strahlen der glühend heißen Sonne auf unsere Erde wirft, ganz anders auf das Thermometer wirken, als wenn er im Neumond die dunkle vielleicht —100° kalte Seite uns zukehrt? Sind diese unzweifelhaften, durch direkte Messungen bestätigten Einflüsse nicht die beste Legitimation für den Mond als Wettermacher, und sollte in dem von der Wissenschaft verpönten uralten Glauben, daß die ewig wechselnden Stellungen von Sonne und Mond den Grundzug des herrschenden Wetters bestimmten, nicht doch ein Körnchen Wahrheit sein?

Vielleicht ein Körnchen. Aber dieses Körnchen wird für die große Masse der Mondgläubigen durch das irreführende Vergrößerungsglas kritikloser Beobachtung nur zu einem Trugbilde. Schon Laplace berechnete, daß die Ebbe und Flut der Luft nur soviel austragen könne, daß das Barometer um 0,1 mm sich ändere, also winzig klein sei gegenüber den fast unausgesetzten viel größeren sonstigen Schwankungen des Barometers. Ebenso minimal ist die Wärmezufuhr durch den Mond. Sind nun auch diese direkten Einflüsse des Mondes auf die Bewegung und die Temperatur der Luft so gering, daß wir sie überhaupt nur mit Mühe nachweisen können, so ist es doch denkbar, daß auch eine an sich geringfügige Änderung des Luftzustandes gewissermaßen auslösend auf bereits vorhandene aufgespeicherte Energie wirken könnte. So wie der leichte Druck auf ein Ventil gewaltige Dampfkräfte in Aktion bringen kann, könnte vielleicht der Mond den Anstoß geben, daß z. B. jene labilen Gleichgewichtszustände der Luft, die den

Zyklonen vorhergehen, gestört werden. Oder seine geringe Wärmestrahlung könnte vielleicht ausreichen, um einen leichten Wolkenschleier aufzulösen und dadurch den Sonnenstrahlen den Zugang zur Erdoberfläche zu öffnen, wodurch nun erheblichere Wetteränderungen bedingt würden. Diesen Möglichkeiten haben nun die Meteorologen dadurch Rechnung getragen, daß sie auf dem Grunde der langjährigen Wetteraufzeichnungen nachträglich zugesehen haben, ob zwischen dem Wetter und den verschiedenen Stellungen des Mondes wirklich ein Zusammenhang bestände. Das Ergebnis ist nicht völlig verneinend ausgefallen. Im Durchschnitt vieler Jahre und Orte scheint die Regenhäufigkeit im ersten Viertel und zweiten Oktanten des Mondes nach dem Vollmond hin zuzunehmen und dann verhältnismäßig rasch gegen das letzte Viertel hin abzufallen. Die Unterschiede sind aber sehr klein. Ferner sind die nördlichen und nordwestlichen Winde ein wenig häufiger zur Zeit des letzten Viertels, die südwestlichen zur Zeit des ersten Viertels. Auch hier ist der Unterschied sehr klein. Derartige Untersuchungen sind höchst mühevoll. Sie geben je nach der Auswahl der Orte und Zeiten, für die sie angestellt werden, mehr oder weniger dem Mondglauben günstige Resultate. Vielfach widersprechen sie sich aber und je mehr man rechnet, desto mehr scheint sich alles auszugleichen. Insbesondere kann nicht die Rede davon sein, daß die sogenannten Wetterumschläge und ebensowenig die größeren Stürme und Ungewitter mit den Tagen des Mondwechsels oder mit bestimmten Stellungen von Sonne und Mond zusammenfallen. Im Durchschnitt der Jahre hat jeder Tag soviel Aussicht als der andere, zu einem „kritischen" zu werden. Es hat daher so gut wie gar keine Berechtigung, das kommende Wetter aus den Mondstellungen vorhersagen zu wollen und die Wahrscheinlichkeit, hierdurch einen Treffer oder Nichttreffer zu erzielen, ist wie eins zu eins.

Der von den Laien gemachte Trugschluß, der in den Worten luna frigida, d. h. „der Mond macht kalt", seinen Ausdruck findet, erklärt sich höchst einfach. Nicht weil der Mond am Himmel steht, wird das Wetter kalt und klar, sondern, weil klare Nächte kalt sind, sehen wir den Mond nur in kalten Nächten. Trotz alledem scheint der Mondaberglaube unausrottbar zu sein. Um dies zu verstehen, bedenken wir folgendes. Gesetzt, ein Mond-Wetterprophet hätte im Laufe

der Zeit 100 Vorhersagungen verkündet. Dann werden tatsächlich zirka 50 derselben zutreffen und 50 nicht. Aber die eingetroffenen 50 machen auf das gläubige oder abergläubische Gemüt vieler Menschen einen viel nachhaltigeren Eindruck als jene anderen 50 fehlgeschlagenen Prognosen und so wird der Glaube an den Mond durch unentwegtes Prophezeien weiter gepflegt und erhalten.

Nicht viel besser halten die sogenannten Wetter- und Bauernregeln einer wissenschaftlichen Kritik stand, wenigstens nicht insoweit dieselben den gesamten Wettercharakter einer kommenden Jahreszeit auf Grundlage verschiedener Erscheinungen des Tier- und Pflanzenlebens oder auch nach dem an bestimmten „Lostagen" (z. B. dem Siebenschläfertag) herrschenden Wetter vorhersagen wollen. Ein Körnchen Wahrheit ist auch hier zu finden. Denn, da sich ein Wetterzustand stets mit Notwendigkeit aus dem voraufgehenden entwickeln muß, so ist es an sich wohl möglich, daß dieses oder jenes Merkmal des herrschenden Wetters schon das nach längerer Zeit zu erwartende Wetter anzeige und daß das Verhalten von Tieren und Pflanzen, welches zunächst unmittelbar von jenem früheren Merkmal beeinflußt wird, dadurch auch indirekt zu einem Wetterpropheten für den kommenden Winter oder Sommer wird. Zahllos sind solche Regeln, z. B. Grüne Weihnacht, weiße Ostern. Auf ruhigen Herbst folgt kalter Frühling. Früher Winter hört früh auf. Bringt der Winter viel Regen, gibt's einen schönen Frühling. Wenn die Tiere sich vor der Zeit paaren, die Bienen fleißig Honig sammeln, wenn die Kühe die Erde scharren, oder der Hund gräbt, gibt es einen strengen Winter usf. Auch diese Regeln, an welche das Volk nun einmal glaubt, sind umfassenden kritischen Untersuchungen unterzogen worden. Eisenlohr in Karlsruhe hat 93 solcher Regeln untersucht. Davon waren einige geradezu unrichtig, die Hälfte ohne besonderen Wert, noch andere unzuverlässig und nur neun richtig. Aber auch diese richtigen Regeln sprachen nur Gesetze aus, die auch sonst bekannt waren, z. B. „Wenn der Tag anfängt zu langen, kommt die Kält' erst angegangen", drückt nur aus, daß das Maximum der Winterkälte nicht mit dem kürzesten Tage zusammenfällt, sondern gegen Ende Januar oder Anfang Februar eintritt. Eine Wettervorhersage im eigentlichen Sinne kann man eine solche

Regel also kaum nennen. Ebensowenig die Regel: „Mai kalt und naß füllt dem Bauer Scheun' und Faß", worin nur eine gewisse landwirtschaftliche Erfahrung ausgesprochen ist. Als ganz unzuverlässig haben sich alle Voraussetzungen erwiesen, die an das Wetter der Lostage geknüpft sind. Trotzdem erhält sich gerade der Glaube an die Vorbedeutung solcher Tage mit derselben Zähigkeit und aus denselben Gründen wie der Mondglaube.

Man kann sagen, daß es der naiven und bloß instinktiven Beobachtung von Schäfern, Fischern und ähnlichen Personen bisher noch nicht gelungen ist, Wetterregeln auszusprechen, die auf Grund einzelner Wahrnehmungen längere Zeit im Voraus die Wechselfälle des Wetters voraussagen könnten. Nur methodisch exakte Beobachtungen und Aufzeichnungen können in dieser Richtung einen Erfolg versprechen.

Erheblich mehr Glück haben die sog. Wetterregeln gehabt, sofern es sich nur um die Ankündigung unmittelbar in den nächsten Tagen bevorstehender Wetterwechsel handelt. Wir kommen hierauf noch zurück. Denn um würdigen zu können, inwieweit aus einzelnen Wahrnehmungen auf bald darauf folgende Wettergestaltungen zu schließen ist, wollen wir die Hauptfrage des heutigen Vortrages zunächst ins Auge fassen, nämlich: Welche Mittel und Überlegungen stehen der modernen Wetterkunde zur Verfügung, um eine Wettervorhersage zu machen?

Der leitende und mit Erfolg gekrönte Grundgedanke ist ein sehr einfacher. Wer ins Wetter sehen will, der bleibt nicht im Zimmer, von wo er nur einen kleinen Teil des Himmels erspähen kann; er geht vielmehr so weit ins Freie oder auf einen Ausguck, um möglichst den ganzen Horizont überschauen zu können. Die Wölbung der Erde setzt seinem Blick ein Ziel. 20 bis 100 km ist etwa die Grenze, bis wohin die Beschaffenheit der Luft zu übersehen ist, wenn man von den ganz hohen Wolken absieht, die noch weiterhin sichtbar werden. Wenn es nun möglich wäre, gewissermaßen mit einem Blick die gesamten über dem europäischen Kontinente momentan vorhandenen Wetterverhältnisse zu überschauen, so müßte dies für die Vorhersage offenbar großen Vorteil erwarten lassen. Zur Verwirklichung dieses Gedankens ist

zweierlei nötig, erstens müssen die zu einem und demselben Zeitpunkte über dem ganzen Kontinente gemachten Beobachtungen zu einem übersichtlichen kartographischen Bilde vereinigt werden, d. h. es muß eine sogenannte synoptische Karte gezeichnet werden; zweitens muß die Sammlung aller dieser gleichzeitigen Beobachtungen an einer Zentralstelle so schnell geschehen, daß überhaupt noch Zeit für eine Vorhersage auf 24 oder 48 Stunden übrig bleibt. Das aber ist durch den Telegraphen möglich geworden.

Was die Herstellung synoptischer Karten betrifft, so war die Methode bereits durch Halley, Humboldt und Dove eingebürgert. Man zeichnet Kurven, welche die Orte gleichen Luftdruckes oder die Orte gleicher Temperatur verbinden und erhält so die Isobaren und Isothermen. Während man aber zur Darstellung des klimatischen Bildes die Unregelmäßigkeiten der einzelnen Beobachtung durch Mittelwerte ausglich, mußte nun gerade die einzelne Beobachtung zur Grundlage genommen werden, um aus der Karte den momentanen Zustand des Wetters herauslesen zu können. Den herrschenden Wind zeichnet man durch Pfeile, welche mit dem Winde fliegen, in die Karten, die Windstärke wird durch verschiedene Befiederung der Pfeile angegeben. Den Grad der Bewölkung gibt man durch die mehr oder weniger schwarz ausgefüllte runde Scheibe an, welche den Beobachtungsort auf der Karte darstellt. Der Regen wird durch daneben gesetzte Punkte angedeutet, die Regenmenge durch eingeschriebene Zahlen usf. Um das Kartenbild nicht zu verwirren, werden gewöhnlich zwei Karten gezeichnet, deren eine die Isobaren, die andere die Isothermen enthält. Die übrigen Notizen werden dann auf beide Karten verteilt.

Das zweite Hilfsmittel, die telegraphische Beförderung der einzelnen Beobachtungen, ist durch internationale Verständigung der Telegraphenverwaltungen ermöglicht, welche täglich zu ganz bestimmten Stunden ihre Linien diesem Zwecke zur Verfügung stellen. So ist es seit etwa 40 Jahren ermöglicht worden, daß bald nach 8 Uhr morgens die gesamten um diese Zeit gleichzeitig angestellten Beobachtungen in einzelnen Zentralen des Kontinentes, bei uns in Hamburg auf der Seewarte, vereinigt und zur schnellen Konstruktion einer synoptischen Karte verarbeitet werden konnten. Das Ergebnis und die darauf

basierte Prognose kann alsdann bereits wenige Stunden nach 8 Uhr durch den Telegraphen nach allen Richtungen hin verkündet werden. Diese Organisation ist im Laufe der Jahre immer vollkommener geworden und beschränkt sich schon längst nicht mehr auf die eine Morgenbeobachtung, sondern zieht auch die Termine 2 Uhr mittags und 8 Uhr abends mit heran. Den eigentlichen Ansporn zu diesen Unternehmungen gaben die Arbeiten von Brandes und Buys Ballot, welche beide bereits erkannten, daß sich gewisse Wetterzustände über den Kontinent fortpflanzten und daher durch schnelle Benachrichtigung vorher zu verkünden sein müßten. Den äußeren Anstoß für Europa gab der Sturm vom 14. November 1854, der den im Schwarzen Meere befindlichen Flotten Frankreichs und Englands verderblich wurde und dessen Untersuchung durch Leverrier zu dem Ergebnis führte, daß eine telegraphische Benachrichtigung, die etwa beim Einsetzen dieses über Wien ostwärts sich bewegenden Zyklones von Wien aus gegeben wäre, noch rechtzeitig hätte warnen können. 1857 wurde darauf ein wettertelegraphisches System in Frankreich eingeführt. An der weiteren Ausbildung haben sich, um wenigstens einige der zahlreichen hervorragenden Meteorologen zu nennen, Buys Ballot in Holland, Maury in Amerika, Scott in England, Hoffmeyer in Dänemark und Georg v. Neumayer verdient gemacht. Insbesondere hat die unter die Direktion des letzteren gestellte Deutsche Seewarte und ihre Mitarbeiter, unter denen van Bebber in erster Linie zu nennen ist, die Ausgestaltung der Wetterprognose in Deutschland zu hoher Blüte gebracht.

Wir wenden uns nun zu der weiteren Frage: Was nützen die synoptischen Karten und wie können wir durch sie eine Wettervorhersage machen?

Bereits im vorigen Vortrag wurde bemerkt, daß sich heftige, um ein Zentrum wirbelnde Stürme als Ganzes über weite Strecken fortbewegen und dabei vielfach ganz bestimmte regelmäßige Bahnen einschlagen, also z. B. von West nach Ost wandern. Gesetzt nun, ein solcher Zyklon komme vom Atlantischen Ozean her und treffe morgens 8 Uhr über Südengland ein. Die Isobarenkarte wird dann ein System ringförmig sich umschließender Kurven zeigen, dessen Zentrum in Südengland ein tiefes barometrisches Minimum zeigt. Die eingezeichneten Pfeile würden nördlich vom Zentrum Ostwind, südlich davon

Westwind anzeigen. Hätten wir nun ferner Grund anzunehmen, daß sich der ganze Zyklon genau ostwärts weiterbewegte und am nächsten Tage mit seinem Zentrum etwa Hamburg erreichte, so wäre mit Hilfe jener synoptischen Karte folgende Voraussage möglich: 1. für Orte in der Breite Hamburgs, also etwa längs der deutschen Nordsee- und Ostseeküste: Südlicher Wind mit zunehmender Stärke, späteres Umschlagen in Nordwind; 2. für Orte in südlicherer Breite als Hamburg: Südwestwinde, die rechtsdrehend allmählich durch West nach Nordwest umgehen; 3. für Orte nördlich von Hamburg: Südöstliche Winde, die linksdrehend allmählich durch Ost nach Nordost umgehen. Wenn man ferner aus bestimmten Gründen annehmen dürfte, daß die Heftigkeit der von England gemeldeten Luftbewegung auf dem weiteren Wege des Zyklones anhalten würde, so wäre es berechtigt, den deutschen Küsten eine Sturmwarnung zugehen zu lassen. Wenn nur das „Wenn" und das „Aber" nicht wäre, so wäre die Sache ja ziemlich einfach. Allein solche scharf ausgeprägten Zyklone, wie sie in den Tropen vorkommen, sind in Europa selten. Was wir hier an Wirbeln haben, die sich auf den täglichen Wetterkarten durch jene ringförmigen Isobaren mit dem barometrischen Minimum in der Mitte abzeichnen, ist nur ein schwacher Abglanz jener furchtbaren tropischen Orkane. Unsere Zyklone oder Minima ziehen auch nicht mit der enormen Geschwindigkeit jener, ihre Zugstraßen sind sehr verschieden. Mitunter kehren sie um, oder bleiben eine Zeitlang stehen. Und dann möchten wir auch noch etwas mehr wissen, als bloß die Windrichtung. Vor allem aber kommen viele Tage vor, an denen die Isobarenkarte überhaupt keine so scharf gekennzeichneten Wirbelbewegungen aufweist. Die Isobaren haben keine Ähnlichkeit mehr mit ringförmig sich umschließenden Kreisen. Sie sind vielleicht lang gestreckt, oder höchst unregelmäßig geschwungen. Wie ist in solchen Fällen überhaupt eine Wetterprognose möglich? Nun, die Antwort ist in der Tat nicht immer ganz leicht und oft genug lassen uns die bisher gemachten Erfahrungen im Stich. Aber seitdem die Wettertelegraphie und die Zeichnung der synoptischen Karten regelmäßig in Betrieb gekommen ist, haben sich doch verschiedene Regeln und Gesetze herausgestellt, deren Anwendung auf bestimmte Wettertypen Voraussagungen des Wetters gestattet.

Namentlich ist es das tägliche Studium der Isobarenkarte gewesen, welches zu der Erkenntnis geführt hat, daß mit den einzelnen Formen und Ausbuchtungen dieser Linien ganz bestimmte typische Wetterzustände verbunden sind. Diese Regelmäßigkeit ist so groß, daß, wenn man nur weiß, wie sich im Laufe der nächsten 24 Stunden diese Isobaren mutmaßlich über Europa verschieben werden, man alsdann auch mit derselben Wahrscheinlichkeit das an den verschiedenen Orten zu erwartende Wetter vorhersagen kann. Sehen wir uns diese verschiedenen Gestalten der Isobaren etwas genauer an. Zwar

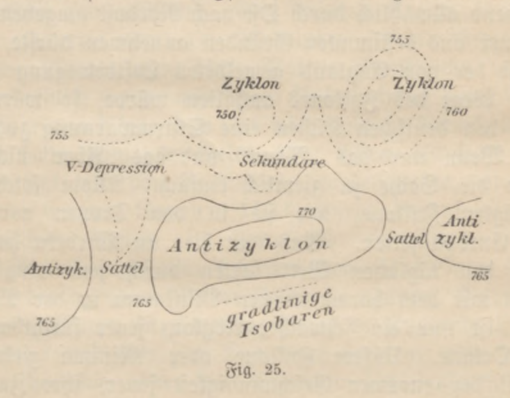


Fig. 25.

gleicht kein Tag genau dem andern, unendlich mannigfaltig ist das tägliche Bild der Karte. Dennoch lassen sich eine Anzahl von typischen oder **Grundformen** dieser Liniensysteme erkennen. Man unterscheidet nach der ausgezeichneten Darstellung Abercrombys*) sieben Grundformen. Auf **einer** Karte sind meist nur wenige dieser Grundformen erkennbar. Indessen kommen auch Tage vor, an denen gleichzeitig alle Grundformen vorhanden sind. So stellt die beigedruckte Fig. 25 die europäischen Isobaren eines bestimmten Zeitpunktes (27. Februar 1865 8 Uhr morgens) dar, an dem alle sieben Grundformen leicht aufzufinden sind. Die Linien sind mit Zahlen versehen, welche den Stand des Barometers angeben. Alle Orte auf derselben Linie haben den gleichen Luftdruck. Die Linie 760

*) Ralph Abercromby, Das Wetter. Deutsch von J. M. Pernter.

trennt das südlich gelegene Gebiet höheren Luftdruckes von dem nördlichen mit kleinerem Druck. Die Isobaren unter 760 sind der bessern Übersicht wegen punktiert gezogen. Wir unterscheiden:

1. Ein Zyklon oben rechts, also im Nordosten: die Isobaren 755 und 750 zwischen denen wir uns auch die nicht mitgezeichneten Isobaren 754, 753, 752 und 751, oder solche in noch kleinerer Abstufung eingeschaltet denken müssen, umschließen in regelmäßigen kreisähnlichen glatten Kurven ein Gebiet kleinsten Luftdruckes — ein „barometrisches Minimum" oder eine „Depression". Die Isobare 760 läuft im Süden noch glatt herum. 759, 758 werden vielleicht schon nach oben geschlossen sein. Es ist dies dieselbe Form der Luftdruckverteilung, wie wir sie bei den tropischen Zyklonen besprochen hatten. Ein zweiter ebensolcher Zyklon liegt links davon. Hier zeigt sich aber am unteren südlichen Rande

2. ein sekundärer Zyklon: die Linie 760 buchtet stark aus und wenn wir die Linien 756 bis 759 noch schätzungsweise hinzukonstruieren, so werden auch diese zunehmend große Ausbuchtungen nach unten zeigen, so daß hier das halbseitige Bild eines Zyklones entstünde;

3. eine V-förmige Depression. Links in der Figur hat die Isobare 760 die Gestalt eines V. Wir erkennen, daß im Innern dieses V der Luftdruck kleiner ist als außerhalb nach den Seiten und nach unten zu. Das V stellt also einen Keil niedrigen Luftdruckes vor, der sich in ein Gebiet höheren Druckes hineinschiebt;

4. einen „Keil" höheren Luftdruckes, der sich rechts oben zwischen die beiden zyklonischen Gebiete niedrigen Luftdruckes schiebt;

5. ein Antizyklon in der Mitte des Bildes. Ein zentrales Gebiet hohen Luftdruckes wird von den geschlossenen Isobaren 770, 765 mit allen ihren Zwischenstufen eingeschlossen. Ein zweiter Antizyklon ist rechts unten noch angedeutet. Zwischen beiden liegt

6. ein Sattel. Denken wir uns die beiden Antizyklonen als hohe Berge, so würde der Sattel dem Gebirgspasse entsprechen, der zwischen beiden Bergen liegt. Zu beiden Seiten

die hohen Berge, nach vorn und hinten (oben und unten) Abfall in die Tiefe;

7. geradlinig verlaufende Isobaren, im Bilde unten.

Mehr oder weniger scharf ausgeprägt und regelmäßig wiederkehrend findet man nun an den Orten dieser verschiedenen Isobarenarten die folgenden Wetterzustände.

Um den Zyklon Fig. 26 kreist der Wind in der mehrfach geschilderten Weise linksläufig und dem barischen Windgesetz ge-

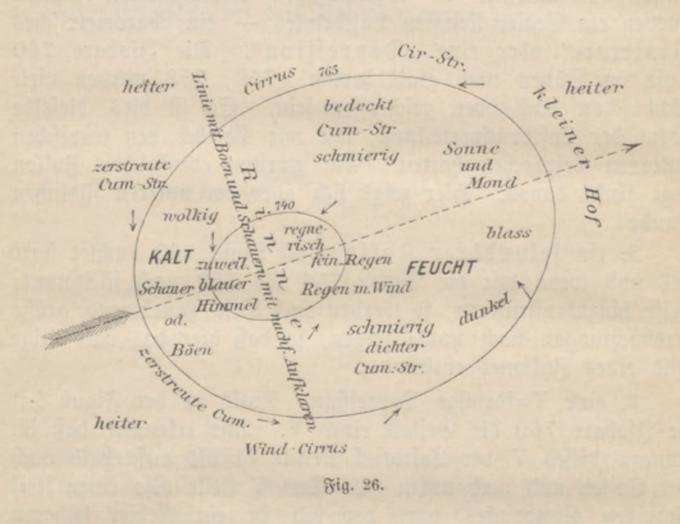


Fig. 26.

horchend. Wenn ein solches Depressionsgebiet sich, wie das die Regel ist, als Ganzes mit lebhafter Geschwindigkeit über die Erde fortbewegt, so ergibt sich daraus die Unterscheidung einer Vorderseite, einer Rückseite, einer rechten und linken Seite. Unter der „Rinne" versteht man die Linie, welche durch das Zentrum gehend senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des Zyklones gezogen ist. Diese Linie trennt die Vorderseite von der Rückseite, während die alle Orte verbindende Linie, über welche das Zentrum des Zyklones hinweggeht, die rechte Seite von der linken trennt. Das Zentrum bedeckend, jedoch mehr nach der Vorderseite als nach hinten, und mehr nach rechts als nach links ausgedehnt, findet sich ein Regengebiet mit schweren, dunklen Wolken. Dies

wird rings umgeben von nur bewölktem, auf der Rückseite vielfach durch klares Blau unterbrochenem, auf der Vorderseite aber durchweg trübem Himmel. Am äußeren Rande des Zyklones herrscht blauer Himmel, an dem sich aber an der Vorderseite leichtes Cirrusgewölk nach vorne vorschiebt. Diese verschiedenen Wetterzustände, das schwüle dumpfe Gebiet der Vorderseite, der schwere Regen des vorderen und rechten Zentralgebietes, die nach dem Zentrum zunehmende Windstärke, das erfrischende, durch nordwestliche Böen unterbrochene Wetter der Rückseite bleiben in ihrer Lage zueinander erhalten und rücken mit dem ganzen Zyklone vor. Ein Ort aber, über den der Zyklon hinwegfährt, wird nacheinander die Wetterzustände der Vorderseite, der Rinne und der Hinterseite erleben.

Zieht demnach ein Depressionsgebiet von Westen her, wie es das Gewöhnliche bei uns ist, heran, so beobachten wir zunächst das Auftreten von feinen Cirruswolken am blauen Himmel. Das Barometer fängt an zu sinken, mehr und mehr verschleiert sich der Himmel. Die Sonne wird „wässerig", der Mond „bleich". Unbehaglich und drückend ist die Luft, die Tiere werden unruhig, Narben schmerzen. An den Bergen zeigen sich Nebelkappen, dickere Wolken ziehen herauf, bis dann bei immer mehr fallendem Barometer und zunehmendem Sturm schwerer Regen unablässig herniederpeitscht. Endlich hat das Barometer seinen tiefsten Stand erreicht. Wir sind, je nachdem das Zentrum gerade über uns oder nördlich oder südlich hinwegzieht, entweder im Zentrum oder an einem Punkte der „Rinne". Im ersten Fall hat der Wind nachgelassen, wir sind in der Windstille des Zentrums. Nachher springt der Wind dann in die entgegengesetzte Richtung um und bläst mit erneuter Heftigkeit. Waren wir dagegen seitlich vom Zentrum, etwa in der rechten Hälfte der Rinne, so erreicht der Sturm mit dem tiefsten Barometerstand sein Maximum und dreht aus SW durch W nach NW. Der Regen hört bald auf, klare erfrischende Luft mit noch vereinzelten Schauern und schließlich wolkenlosem Himmel beendet den Vorübergang des Zyklones. Geht das Zentrum südlich von uns vorbei, befinden wir uns also zur Zeit des tiefsten Barometers in der linken Hälfte der Rinne, so ist der Übergang aus der trüben dumpfigen Luft der Vorderseite in die heiter stimmende Luft der Rückseite nicht

ganz so ausgeprägt. Der Wind dreht für unsern Ort, wie wir schon oben sahen, jetzt umgekehrt, also von SO durch O nach NO.

Die sekundären Depressionen, welche sich am Randgebiet des Zyklones entwickeln und durch die Ausbuchtung der Isobaren kenntlich sind, wandern mit jenen, ohne sich an der Rotation um das Zentrum zu beteiligen. Der Wind läuft mit der Isobare etwas nach links abgelenkt. Die Vorderseite der sekundären Depression liegt daher nach derselben Seite wie bei der Hauptdepression. Auch hier hat die Vorderseite das schlechtere Wetter. Voran gehen dünne neblige Wolken, welche zu Sonnen- und Mondhöfen Veranlassung geben. Dann folgen dunkle Cirrostratuswolken und sodann nach dem Zentrum zu heftiger Regen mit Windstößen. Im Innern nimmt die Windstärke ab und stetig fallender Regen, sogenannter Landregen, herrscht hier. Nach der Rückseite zu wird der Regen zuerst noch wieder heftiger, dann folgt böiges klares Wetter mit Haufwolken. Das Barometer ändert sich beim Vorübergang nur wenig, da die charakteristische Form der Isobaren überhaupt erst hervortritt, wenn letztere von Millimeter zu Millimeter konstruiert werden.

Die V-förmigen Depressionen bilden sich gleichfalls am Rande zyklonaler Gebiete und sind durch böiges, vielfach mit Gewittern verbundenes Wetter ausgezeichnet. Sie pflegen aber im Gegensatze zu den sekundären Depressionen an der linksläufigen Umkreisung der Hauptdepression teilzunehmen. Wie aus der Fig. 27 ohne weiteres ersichtlich, wird ein Ort, über den eine solche V-Depression etwa in der Richtung des Pfeiles hinweggeht, zuerst langsam fallendes Barometer haben. Dann tritt, wenn die dichter gedrängten Isobaren, also die Rückseite der Depression folgt, schneller Anstieg des Barometers um 2—3 mm, die sogenannte Gewitternase, mit bald darauf erfolgendem Sinken ein. Die Ursache für diese Gestaltung des Luftdruckes liegt in der Ausbildung vertikaler Luftströmungen, wie sie auf der Grenze zwischen warmen und kalten nebeneinander geratenen Luftmassen entstehen müssen und mit schwerer Gewitterwolkenbildung verbunden sind.

Wesentlich anders ist das sogenannte Strahlungswetter im Gebiete höheren Luftdruckes, in den Antizyklonen. Das Zentrum, also etwa das von der Isobare 765 eingeschlossene

Gebiet, ist wolkenfrei und ist daher sowohl der intensivsten Sonneneinstrahlung als auch der Wärmeausstrahlung ausgesetzt. Für den Sommer hat dies heißes trockenes Wetter mit nächtlicher Tau- und Nebelbildung, für den Winter scharfen Frost zur Folge. Die Windstärke ist gering entsprechend dem weiten Abstande der Isobaren. Rings um das zentrale Gebiet eines solchen „Maximums" ist ein breiter Rand wolkenlosen und nebel- und taufreien Wetters. Noch weiter nach dem Rande zu finden sich leichte Kumulus- und Cirruswolken und im Winter dunkler Himmel.

Schiebt sich zwischen zwei zyklonale Gebiete niedrigen Druckes eine Zunge höheren Druckes hinein, so haben wir die keilförmigen Isobaren, welche an der Bewegung der zyklonalen Gebiete teilnehmen. An der nach der gesamten Fortbewegung gerechneten Vorderseite ist der Himmel tiefblau von höchster Reinheit. Die zur Fortpflanzungsrichtung senkrechte Mittellinie des Keils hat nach der Seite des höheren Luftdruckes nebliges Wetter, nach der entgegengesetzten, also in der Spitze des Keiles, Gewitter und Regenschauer. Auf der ganzen Rückseite fällt Regen. Das Herannahen eines solchen Keiles macht sich sonach für einen Ort durch schnelles Steigen des Barometers, zunächst prachtvoll klares Wetter, aber bald darauf folgenden Regen mit nunmehr fallendem Barometer kenntlich.

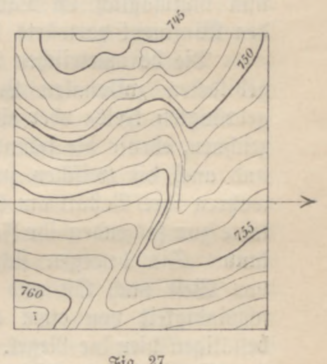


Fig. 27.

Während bei den keilförmigen Isobaren die zugehörigen Wetterzustände mit großer Regelmäßigkeit eintreten, ist eine solche Beziehung bei den Sattelgebieten nicht klar ausgesprochen.

Hingegen kann man da, wo sich die Isobaren über weite Gebiete geradlinig erstrecken und annähernd parallel sind, die Regel aufstellen, daß nach der Seite des Hochdruckes zu klarer Himmel ist, dann folgen Cirruswolken, niedergehender Rauch und schwerer Himmel, sodann ein Gebiet durchbrochenen Gewölkes mit Neigung zu Staubwirbeln und je weiter nach dem niedrigen Druck zu, desto dunklere Wolken mit kaltem Regen.

Alle diese Beziehungen zwischen dem Verlaufe der Isobaren und den mit ihren verschiedenen Formen verknüpften Wetterzuständen finden sich mit mehr oder weniger Regelmäßigkeit auf jeder täglich erscheinenden Wetterkarte bestätigt. In dieser Erkenntnis besteht die wesentlichste Errungenschaft der auf systematische Untersuchungen begründeten Wetterprognose. Freilich ist das nur das Fundament, welches in seinen Einzelheiten auch noch mancherlei Verbesserungen durch weitere fortgesetzte Vergleichungen fähig sein dürfte. Ein Zweites muß hinzukommen, nämlich die Kenntnis derjenigen Regeln, nach denen sich die durch die Isobaren zum Ausdruck kommende und für den Zeitpunkt morgens 8 Uhr geltende Luftdruckverteilung nun mutmaßlich im Laufe des oder der nächsten Tage über den Kontinent vorwärts bewegen bezw. in sich verändern wird.

Die barometrischen Depressionen, also die regelmäßig ausgebildeten zyklonalen Luftbewegungen, wie sie sich durch die gedrängten kreis- oder eiförmigen Ringe auf den Karten kennzeichnen, ebenso die sekundären und die V-förmigen Depressionen und auch die zwischen zwei Depressionen liegenden „Keile" bewahren ihre Gestalt am längsten, so daß man von einer Wetterkarte zur folgenden ihr Fortschreiten meist unzweideutig erkennen kann. Sie bewegen sich bei uns in Europa im allgemeinen von West nach Ost und rücken mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 40 km pro Stunde vor. Ausnahmen bestätigen hier die Regel. Namentlich scheinen die Meeresbecken der Nordsee und Ostsee eine gewisse Anziehungskraft auf die Depressionen zu üben. So kann es kommen, daß wir uns in Kiel tagelang in der unbehaglichen Ostseite einer über der Nordsee lagernden Depression befinden und reichlich mit Sturm und Regen bedacht werden. Bei den Antizyklonen, den Gebieten hohen Luftdruckes, ist der Verlauf der einzelnen Isobaren meist unregelmäßig von der Kreisform abweichend und die nicht so eng gedrängten Linien ändern die Einzelheiten ihrer Form oft ganz erheblich von Tag zu Tag. Dagegen bleibt das gesamte Hochdruckgebiet mit Vorliebe oft tagelang über derselben Gegend Europas stehen, so daß von einer nach bestimmten Regeln erfolgenden Wanderung dieser Gebiete nicht gesprochen werden kann.

Daher beziehen sich die Regeln, welche man für die Zugstraßen der Isobarengruppen gefunden hat, vorzugsweise auf

die zyklonalen Systeme. Die Zugrichtung der Minima ist bedingt durch die Lage der benachbarten barometrischen Maxima und läßt diese meist rechts liegen. Aber auch die Wärmeverteilung, wie sie in der Isothermenkarte zur Darstellung gelangt, hat sichtlichen Einfluß. Die Zugstraße der Zyklonen schneidet von den höheren nach den niederen Isothermen etwa unter einem Winkel von 45° hinein. Die Zyklonen lassen also im allgemeinen die Gebiete hoher Temperatur rechts hinter sich und die Luftdruckmaxima rechts neben sich, sofern bei der gegebenen Wetterlage beides zugleich möglich ist. Weitaus die meisten der über das mittlere und nördliche Europa ziehenden Zyklone kommen fertig gebildet vom Ozean her und erscheinen hauptsächlich an der Nordküste Schottlands, zu einem kleineren Teile vor der Mündung des englischen Kanals. Die weiter eingeschlagenen Wege sind von van Bebber einer umfassenden statistischen Bearbeitung unterzogen. Es hat sich daraus ergeben, daß fünf Haupttypen von Zugstraßen zu unterscheiden sind. Die erste und wichtigste, besonders im Herbst und Winter auftretende, läuft von Nordschottland nach Nordost etwa parallel der norwegischen Küste. Untergruppen dieses Typus entstehen durch die nördlich des Polarkreises beginnende Abbiegung nach Südost oder Ost. Da wir hier ziemlich weit vom Zentrum dieser Zyklone abbleiben und höchstens von einer am Rande sich bildenden Teildepression getroffen werden, haben wir dabei meist warmes Wetter mit westlichen Winden und wenig Regen. Eine zweite Zugstraße geht zwischen den Faröer und Schottland hindurch in rein östlicher Richtung durch Skandinavien bis zum Finnischen Busen, von wo aus wieder Verzweigungen nach verschiedenen Richtungen ins Innere Rußlands beginnen. Der kälteren Jahreszeit angehörig und näher an uns vorbeigehend, bringen uns diese Zyklone mehr Wolken, Sturm und Regen. In noch höherem Maße ist dies bei der dritten Zugstraße der Fall, die von Nordschottland durch das Skagerrak über Südschweden nach dem südöstlichen Rußland führt. Der wärmeren Jahreszeit gehört die vierte Zugstraße an, die vom Kanal aus in ostnordöstlicher Richtung nach Finnland bald mehr nördlich über Dänemark, bald südlicher an den deutschen Küsten entlang geht. Raschen Wechsel aus warmem trüben Wetter in kühleres und klares haben wir bei dieser Art zu gewärtigen. Eine fünfte

Zugstraße, die für unsere Gegend im Frühjahr von Bedeutung ist, führt vom Kanal südöstlich durch Frankreich und Oberitalien. Von hier aus gehen die Depressionen entweder längs des Adriatischen Meeres nach Griechenland, oder östlich zum Schwarzen Meere oder aber, und das kommt für uns in Betracht, nordnordöstlich, die Alpen abermals überschreitend, nach dem nordöstlichen Deutschland bis zum Finnischen Meerbusen. Für Deutschland bringen diese Zyklone, solange sie durch Frankreich ziehen, südöstliche und östliche Winde, auf dem letzten Teil ihres Weges nördliche Winde. Kaltes Wetter im Winter, starke Niederschläge in Ostdeutschland, klares Wetter mit Frühjahrsnachtfrösten in Westdeutschland sind die Begleiterscheinungen.

Offenbar müssen diese verschiedenen Zugstraßen der Minima für die Wettervorhersage von größter Bedeutung sein. Sie sind es aber nur dann, wenn die gesamte Wetterlage überhaupt unter dem Einfluß der Depressionen steht, also durch vorherrschend niedrigen Barometerstand ausgezeichnet ist. Bei durchweg hohen Barometerständen oder in dem häufigsten Falle, in welchem auf der einen Seite der Wetterkarte hoher Luftdruck, auf der andern niedriger Luftdruck herrscht, bestimmen die Antizyklone und ihr Verhalten das Wetter. Sie sind seßhafter wie die Zyklone und bleiben als sogenannte konstante Maxima oft wochenlang über derselben Gegend, nur die temporären Maxima, welche schnell entstehen und wieder verschwinden, wandern mit mäßiger, etwa halb so großer Geschwindigkeit wie die Zyklone. Typische Zugstraßen der Maxima sind nicht hervortretend. Dagegen läßt sich die gesamte Wetterlage je nach dem hier oder dort gelagerten maximalen und minimalen Luftdruck nach verschiedenen, meist auf längere Zeit herrschenden Wettertypen klassifizieren, wie dies von Hoffmeyer, Teisserence de Bort, van Bebber und Köppen versucht worden ist. Es heben sich dabei einige Gebiete hervor, welche besonders geeignet zu sein scheinen, zyklonales oder antizyklonales Wetter zu erzeugen und auf einige Zeit festzuhalten. So entwickelt sich im Winter mit großer Beständigkeit über Mittel- und Nordasien ein Maximum, hervorgerufen durch die Strahlungskälte, das sibirische Maximum. Ein anderes Maximum bildet sich gern über dem zwischen Madeira, den Azoren und Spanien gelegenen Teile des Ozeans, das Maximum von Madeira. Es entsteht, wenn die Temperatur des Meeres eine

im Verhältnis der geographischen Breite geringe ist. Umgekehrt erkennen wir in der abnormen Wärme des Golfstromes den Grund dafür, daß im nördlichen Ozean die Depressionen vorherrschen. Übrigens kann man den Ort dieser beiden Maxima und des ozeanischen Minimums keineswegs sehr genau angeben. Das sibirische Maximum schiebt sich oft bis weit nach Rußland und Deutschland vor und vereinigt sich wohl gar mit dem bis Frankreich und Deutschland vorgerückten Maximum von Madeira. Das ozeanische Minimum verändert seine Lage von Grönlands Küsten bis zu den britischen Inseln. Wie oft und mit welchem Rechte die hier oder dort auftretenden Maxima und Minima als bloße Verschiebungen und Abarten jener drei mittels Durchschnittsberechnung gefundenen Hauptzentra anzusehen sind, ist nicht immer mit Bestimmtheit zu sagen. Die Mannigfaltigkeit der Wettertypen ist eine außerordentlich große und einer gewissen Willkür entbehrt es nicht, wenn van Bebber alle europäischen Wetterlagen in fünf Haupttypen einteilt, je nachdem das Hochdruckgebiet im Nordwesten, in Zentraleuropa, im Nordosten, im Südosten oder im Süden liegt. Immerhin bilden solche Einteilungen für den Meteorologen ein äußerst schätzbares Hilfsmittel der Orientierung. Für unsere Gegend (Norddeutschland) tritt das böige naßkalte Wetter im Sommer beim ersten Typus (Maximum in NW) ein. Schwache Winde bei heiterer oder nebliger Witterung, Nachtfröste im Frühjahr und Herbst, Kälte im Winter, Trockenheit und Wärme im Sommer begleiten den zweiten Typus (Maximum in Zentraleuropa). Trockene östliche Winde mit Hitze im Sommer und Kälte im Winter sind beim dritten Typus (Maximum in NO) herrschend. Ebenfalls trockenes und meist warmes Wetter gibt der vierte Typus (Maximum in Osteuropa); am häufigsten in allen Jahreszeiten ist der fünfte Typus (Maximum südlich der Alpen), der vorwiegend westliche Winde, viel Niederschläge, im Winter Wärme, im Sommer naßkaltes Wetter bringt.

Umfassende Untersuchungen sind ferner angestellt, um die Häufigkeit des Vorkommens der verschiedenen Wettertypen in den einzelnen Monaten und Jahreszeiten und ebenso die durchschnittliche Zeit ihres Andauerns festzustellen. Die letztere beträgt nur wenige Tage und ist beim dritten Typus (Maximum in NNO) am größten, wo im Frühjahr und Herbst eine Dauer von durchschnittlich fünf Tagen erreicht wird.

So hat also das Studium der Wetterkarten vergangener Tage und Jahre zur Erkenntnis von mancherlei Gesetzmäßigkeiten geführt. Ihre verständige Benutzung ermöglicht es dem Meteorologen, statt blind zu raten, nunmehr eine auf gewisse Wahrscheinlichkeiten begründete Prognose aufzustellen. Leider erstrecken sich alle diese Regeln über die Veränderung der Wetterlagen nur auf wenige Tage. Die Prognose auf Grund einer Wetterkarte kann daher auch nur für eine so kurze Zeit im voraus wissenschaftlich begründet werden. Schon für den zweiten folgenden Tag ist bei der großen Mannigfaltigkeit der Kombinationen die Prognose ganz erheblich viel unsicherer als nur für die ersten 24 Stunden. Und gar erst der Versuch, das Wetter einer kommenden Jahreszeit vorhersagen zu wollen, entbehrt fast ganz einer gesetzmäßigen Begründung. Wir sagen fast ganz. Denn es sind in der Tat einige bemerkenswerte Anläufe gemacht worden, um den Zusammenhang des allgemeinen Wetters einer bestimmten Zeit mit demjenigen einer späteren Zeit in Beziehung zu setzen. So hat z. B. Petterson in Stockholm gefunden, daß, wenn die Meerestemperatur an der norwegischen Küste im Dezember besonders hoch oder niedrig ist, hieraus auf ein besonders warmes bezw. kaltes Frühjahr in Mitteleuropa zu schließen sei. Ein anderer von G. Karsten und mir empfohlener Weg, das mutmaßliche Wetter für längere Zeit im voraus zu berechnen, ist der folgende. Man sucht auf Grund früherer Aufzeichnungen diejenigen Jahre heraus, deren Wetterzustände mit denen des letzten oder der letzten Monate die größte Ähnlichkeit haben. Man kann alsdann annehmen, daß das jetzt kommende Wetter zunächst noch dieselben Hauptzüge bewahren wird, wie sie in jenen voraufgegangenen Jahren in der entsprechenden Zeit geherrscht haben. Zu wirklich allgemeingültigen größeren Erfolgen haben diese oder ähnliche Bestrebungen bisher nicht geführt und eine Begründung der volkstümlichen Wetterregeln auf lange Zeit im voraus ist durch sie noch in keiner Weise ermöglicht.

Das durch die obigen Regeln der Isobarenkarten, der Zugstraßen und der Wettertypen wissenschaftlich begründete Fundament der Wettervorhersage erfährt nun aber durch die Hinzufügung rein lokaler Wetterbeobachtungen eine sehr merkliche Erweiterung. Man kann auch sagen, daß die bloß lokale Wetterbeobachtung durch die Hinzufügung der gleichzeitigen

Wetterkarten in noch viel höherem Maße an Wert gewinnt. Wir rechnen zu dieser lokalen Beobachtung erstens die Ablesungen der meteorologischen Instrumente und zweitens die lokalen sogenannten Wetterregeln.

Vergegenwärtigen wir uns die Lage eines Wetterpropheten, der etwa um 1 Uhr nachmittags in den Besitz der Wetterkarte von 8 Uhr morgens kommt. Schönes klares antizyklonisches Wetter hat schon tagelang geherrscht. Nun sieht er auf der Karte die eng geschlossenen Ringe einer über England erschienenen Depression. Er überlegt, welche Zugstraße dieselbe einschlagen wird. Vielleicht geht sie nordöstlich auf Zugstraße I. Dann bleibt das Wetter einstweilen noch gut. Vielleicht wird aber Zugstraße II oder III eingeschlagen. Dann ist in etwa 24 Stunden die rechte Vorderseite des Zyklones da und es ist Regen mit stark auffrischenden südwestlichen Winden zu erwarten. Einen gewissen Anhalt zur Entscheidung dieser Frage bietet zwar schon die Wetterkarte vom Tage vorher, die natürlich sorgfältig verglichen wird, insbesondere die abgekürzten Zusammenstellungen von 8 Uhr abends. Aber dies läßt noch verschiedene Deutungen zu. Nun wird aber das Barometer betrachtet. Die Kurve des Registrierbarometers ist bereits seit der Nacht in beständigem Sinken und seit 8 Uhr morgens ist sie stark gefallen Daraus geht bereits mit großer Wahrscheinlichkeit hervor, daß die Depression nicht seitwärts ab nach Nordosten, sondern nach dem Beobachtungsorte zu sich bewegt. Zeigen sich dann vielleicht schon gegen Abend jene Cirruswolken, die wir als die Vorläufer der Depression erkannten, und ist das Barometer in schnellem Sinken geblieben, während der vorher östliche Wind durch Süden zu drehen anfängt, so ist mit großer Sicherheit auf eine direkte Annäherung jenes Zyklones zu schließen und für den nächsten Tag ist zunehmende Verschleierung des Himmels mit folgendem Regen und Wind aus Südwesten zu prognostizieren. In diesem Falle bewährte sich also das Barometer in seiner früheren und volkstümlichen Bezeichnung als Wetterglas. Auch ohne Kenntnis der Wetterkarte hätte man aus dem fallenden Barometer Regen prophezeien können. Aber daß nach dem Vorübergang der Depression aufklarendes Wetter mit Nordwestwind folgen würde, sagte das Barometer allein noch nicht im voraus. Erst als es hierzu wirklich kam, begann das Steigen. Ein anderer Fall ist etwa folgender. Im Süden

liegt laut Wetterkarte ein barometrisches Maximum, nördlich liegt ein Zyklon, dessen Rinne um 8 Uhr gerade durch den Beobachtungspunkt geht. Das Barometer ist bis Mittag im Steigen, der Wind hat stark nach N gedreht, der Himmel wird prachtvoll klar. Wollte man nun allein auf das Barometer vertrauen und gutes Wetter bei östlichen Winden prophezeien, so würde man getäuscht werden. Denn ein zweiter Zyklon folgt dem ersten, zwischen beide hat sich, wie die wasserklare Luft erkennen läßt, ein „Keil" hohen Druckes geschoben, dessen Rückseite heftigen Regen gibt. Hier leitet also das Barometer allein völlig fehl. Erst die gemeinsame Berücksichtigung von Wetterkarte, Barometer, Windrichtung und allgemeiner Wetteransicht klärt den Beobachter über die Sachlage auf und ermöglicht die richtige auf Regen lautende Prognose trotz steigenden Barometers. Die wichtige Frage ferner, ob Nachtfröste zu erwarten sind, ist auf Grund der Wetterkarte allein nicht immer sicher zu entscheiden. Der Feuchtigkeitsgehalt des lokalen Bezirkes gibt den Ausschlag, ob eine Abkühlung unter Null möglich ist ohne Kondensation von Wasserdampf, oder ob bereits vorher Nebelbildung zu erwarten ist, welche den Nachtfrost verhindert. Befragt man daher nicht bloß die Wetterkarte, sondern auch das Psychrometer, so ist bei trockener Luft Nachtfrost, bei feuchter Nebel oder Niederschlag vorherzusagen.

Die örtliche Beobachtung von Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeit, Windrichtung und Bewölkung sind also für die Wettervorhersage von größtem Nutzen und zwar nicht bloß die absoluten Werte, sondern auch die Änderungen. Zu wissen, ob das Barometer steigt oder fällt, ist meist viel wichtiger, als seinen absoluten Stand zu kennen. Gleich bedeutungsvoll sind auch manche der sogenannten Wetterregeln, wie sie sich im Volksmunde überall und vielfach von ganz spezieller örtlicher Beziehung herausgebildet haben. Von einer Erklärung und Begründung weiß der Volksglaube in der Regel nichts. Aber im Lichte der gesetzmäßigen Zusammenhänge, die wir in den verschiedenen Wetterlagen und ihrer Aufeinanderfolge erkannt haben, sehen wir rückwärts ein, daß und wie weit sie begründet sind. Heißt es z. B. hier zu Lande: „Wie am Freitag, so ist auch am Sonntag das Wetter", so steckt hierin etwas Richtiges und etwas Falsches. Richtig ist, daß Zyklone, die auf derselben Zugstraße, einer dem andern folgend, an uns vorüber-

ziehen, oft etwa zwei Tage für den Vorübergang brauchen. Waren wir also am Freitag z. B. in der Vorderseite des einen Zyklones mit Regen, so können wir nach einem frischen und heiteren Wetter am Sonnabend wieder zum Sonntag in die Vorderseite des nachfolgenden Zyklones, also abermals in Regen geraten. Falsch aber an der Wetterregel ist es, daß der Zeitraum zwischen zwei Zyklonen etwa immer zwei Tage betragen solle, und reiner Aberglaube ist es, daß diese Regel etwa gerade für Freitag und Sonntag und nicht ebenso gut auch für Montag und Mittwoch passen solle. Die Regel: „Je weiter man sieht, desto näher der Regen" findet ihre Begründung, wie wir jetzt wissen, darin, daß auf der Vorderseite eines Hochdruckkeiles ungemein durchsichtige Luft vorhanden ist und die nicht allzuweit entfernte Rückseite des Keiles schweren Regen bringt. Die Regel wird also bestätigt, wenn der Keil über uns fortzieht, sie wird versagen, wenn unser Ort statt in die Rückseite des Keiles direkt in das eigentliche Hochdruckgebiet kommt. Ferner: „Starker Tau bedeutet anhaltend gutes Wetter"; das ist begründet, da Taubildung vorzugsweise bei antizyklonalem Strahlungswetter eintritt, und dieses, wie wir sahen, die Tendenz zu längerem Anhalten hat. Eine Menge von Wetterregeln, namentlich die auf das Ausfliegen der Vögel bezogenen, finden dieselbe Begründung. Einigen anderen solcher Wetterregeln werden wir noch bei der Betrachtung der Lichterscheinungen am Himmel wieder begegnen. Ganz lokal ist die den Schweizerreisenden geläufige, am Vierwaldstädter See geltende Regel: „Hat der Pilatus einen Hut, so wird das Wetter gut, hat er einen Kragen, so darfst du es wagen, hat er einen Degen, so gibt es Regen". Hier bei uns im Flachlande an der Küste gibt das Steigen und Sinken des Meeresniveaus wertvolle Winke. Da das Wasser hier in Kiel bei südwestlichen Winden über der Ostsee fällt und bei nordöstlichen steigt, so verrät uns Hoch- oder Niedrigwasser, wie die herrschende Windrichtung ostwärts von uns ist, Schiffer und Fischer wissen hieraus ihre Vorhersage zu machen und sie würden unzweifelhaft noch bessere Propheten werden, wenn sie zugleich auch die Wetterkarten mit ihren unmittelbaren Beobachtungen in Verbindung brächten.

Auf eine möglichst ausgiebige Heranziehung lokaler Beobachtungen und Wetterregeln zur Ergänzung und Speziali-

sierung der aus den synoptischen Karten abzulesenden Wetteranzeichen muß daher der praktische Witterungsdienst Bedacht nehmen. Über die Organisation des letzteren mögen einige Angaben interessieren, die wir auf Deutschland beschränken. Von 1876 an übernahm die Deutsche Seewarte den bis dahin von Berlin aus vermittelten Austausch von Wettertelegrammen. In Chiffreschrift laufen von zahlreichen deutschen und ausländischen Stationen die Telegramme der 8 Uhr Beobachtung ein. Jedes Telegramm enthält zwei Zahlengruppen zu je fünf Ziffern. Die drei ersten Ziffern geben den Barometerstand mit Weglassung der 7 auf eine Decimale an. Also z. B. 594 = 759,4 mm. Die folgenden beiden Zahlen geben die Windrichtung nach 32 von Nord über Ost gerechneten Winden, z. B. 16 = Süd; 06 = Ostnordost, an. Die 6. Ziffer gibt von 0—9 die Windstärke in Beauforts Skala; die 7. die Himmelsansicht (0—4 Bewölkung, 5 Regen, 6 Schnee, 7 Dunst, 8 Nebel, 9 Gewitter). Die drei letzten Ziffern sind für die Temperatur bis auf Zehntel Grade bestimmt. Temperaturen unter Null werden dadurch gekennzeichnet, daß die erste Ziffer um 5 vermehrt wird. Die Depesche 59406 26605 bedeutet daher Barometer 759,4 mm; Wind Ostnordost; Windstärke 2 (leicht), Schneefall, Temperatur —10,5°. Auf Grund der eingelaufenen Telegramme wird in etwa einer Stunde eine Isobarenkarte gezeichnet. Das Ergebnis wird durch gleichfalls chiffrierte Isobarentelegramme nach verschiedenen Orten mitgeteilt. Zu diesem Zweck ist die Karte von Europa in größere Quadrate 0—9 und jedes derselben wieder in 100 kleinere Quadrate geteilt, deren Horizontal- und Vertikalreihen durch je eine Ziffer bezeichnet werden. So kann durch Kombination von drei Ziffern jedes beliebige dieser kleinen Quadrate bezeichnet, also eine sehr genaue Ortsangabe bewirkt werden. Daneben geschieht eine Versendung der schnell gedruckten Wetterkarten und eine teils telegraphische, teils briefliche Versendung von Prognosen. Vom 1. Mai 1900 an war es ermöglicht, daß bereits zwischen $9\frac{1}{2}$ und 10 Uhr vormittags die sogenannte erste Abonnementsdepesche von Hamburg aus an jede Telegraphenstation geschickt werden konnte, worin das Ergebnis der 8 Uhr Beobachtung von 17 deutschen, 4 englischen, 2 französischen, 1 niederländischen, 2 dänischen, 2 norwegischen und 4 schwedischen Stationen mitgeteilt wird. Zwischen 10 und

11 Uhr wird eine zweite Abonnementsdepesche ausgegeben, welche kurze Übersicht der Witterung und eine Prognose für den kommenden Tag enthält. Etwa um 1 Uhr folgt dann eine Ergänzungsdepesche mit den 8 Uhr-Beobachtungen von 17 weiteren Stationen. Besondere Sturmwarnungen für die Küstenplätze werden nach Umständen daneben versandt. Eine Kugel wird alsdann an den Häfen aufgezogen und bedeutet atmosphärische Störung. Nordwest- und Nordoststurm werden durch ein bezw. zwei Kegel mit der Spitze nach oben, Südwest- und Südoststurm durch ein bezw. zwei Kegel mit Spitze nach unten signalisiert. Die von Hamburg abgelassenen Telegramme werden insbesondere in Berlin und Chemnitz, wo seit 1878 ein Witterungsdienst besteht, durch Sammlung weiterer benachbarter Telegramme vervollständigt und zu einer in den ersten Nachmittagsstunden auf verschiedene Weise verbreiteten Prognose verarbeitet. In München, Stuttgart, Karlsruhe, Straßburg, Aachen, Köln, Frankfurt, Königsberg sind weitere Zentralstellen in Tätigkeit, welche mehr oder weniger unabhängig von der Seewarte in erster Linie auf die Herausgabe einer mehr lokalen Prognose bedacht sind. So ist es überall in Deutschland möglich, schon um die Mittagszeit in den Besitz der allgemeineren, für größere Teile Deutschlands ausgegebenen und bald darauf auch in den Besitz einer schärfer lokalisierten Prognose zu gelangen. Dies in zunehmender Entwicklung begriffene Radialsystem, d. h. des Anschlusses vieler einzelner Nebenzentra an ein Hauptzentrum des Landes scheint dem in Amerika eingeführten Rundlaufsystem überlegen, wobei im Kreislauf jede Station allen andern ihre Beobachtungen mitteilt.

Fragen wir schließlich nach dem Erfolge, den diese großartigen, über alle zivilisierten Länder verbreiteten Organisationen des Witterungsdienstes in den nunmehr reichlich 25 Jahren ihres Bestandes aufzuweisen haben, so steht, wenn auch vielleicht ziffernmäßig schwer angebbar, doch unzweifelhaft fest, daß zahlreiche Schiffe durch rechtzeitig erhaltene Sturmwarnungen vor sicherem Untergang bewahrt sind und daß Handel und Gewerbe, besonders aber die Landwirtschaft mit zunehmendem Erfolge von den Wetterprognosen Gebrauch machen. Freilich auch an Fehlprognosen fehlt es nicht. Statistische Ermittelungen über die Häufigkeit des Eintreffens der Prognosen sind bei der oft etwas unbestimmten und zweideutigen Fassung derselben

nicht gerade leicht. Sie sind aber vielfach gemacht worden. Man gibt einer Prognose dabei die Zahlenwerte 100, 75, 50, 25, 0, je nachdem sie ganz richtig, vorwiegend richtig, halb richtig, vorwiegend unrichtig oder ganz verfehlt war. Hieraus berechnet sich dann das prozentische Eintreffen der gestellten Prognosen. Man kann danach annehmen, daß etwa 80% der mit dem Hamburger Material für die größeren Gebiete Deutschlands aufgestellten Prognosen eintreffen, während die Hinzunahme von örtlichen und provinziellen Beobachtungen eine Vermehrung der Treffsicherheit auf etwa 85% ermöglicht. Dies alles bezieht sich auf die Eintagsprognose. Läßt man sich auf die Voraussage des Wetters für den zweitfolgenden Tag ein, so sinkt die Wahrscheinlichkeit gleich bedeutend, für noch weitere Tage wird sie gleich 50%, d. h. hier behält man in der Hälfte der Fälle Recht, in der andern Unrecht, wenn man die Vorhersage völlig nach Willkür macht.

Eine absolute mathematische Sicherheit gibt es also nicht einmal für die Eintagsprognose. Dazu sind die möglichen Kombinationen zu zahlreich und verwickelt, und wenn man auch noch so sorgfältig alle Gesetze beachtet, welche für die Isobaren, die Zugstraßen und die Wettertypen gelten, wenn man noch so fleißig die Instrumente ablieſt und die bewährten Propheten unter den Schäfern und Schiffern zu Rate zieht, ein gewisses Stück bleibt übrig, wo nicht die exakte Analyse, sondern die Kunst eines Wettertalentes und die Routine in ihre Rechte treten.

Dies mag uns zum Schluß nochmals vergegenwärtigen, was wir in den voraufgehenden Betrachtungen so vielfach gesehen haben, nämlich die außerordentliche Verwickelung der meteorologischen Vorgänge überhaupt, deren wichtigste Grundgesetze zwar mehr und mehr erkannt sind, deren vollständige Erklärung aber noch unabsehbare Zeit und Mühe erfordern wird.

Namen- und Sachregister.


BIBLIOTEKA
UNIWERSYTECKA
W TORUNIU

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen. Von Ingenieur Richard Vater. Mit zahlreichen Abbildungen.

Will durch eine allgemein bildende Darstellung Interesse und Verständnis für die immer wichtiger werdenden Gas-, Petroleum- und Benzinmaschinen erwecken.

Das Eisenhüttenwesen. Erläutert in acht Vorträgen von Prof. Dr. H. Wedding. Mit 12 Figuren im Text. 2. Auflage.

Schildert in gemeinfaßlicher Weise, wie Eisen das unentbehrlichste Metall, erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird.

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht der Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik. Von Launhardt, Geh. Reg.-Rat, Professor an d. Techn. Hochschule zu Hannover. Mit vielen Abbildungen.

Ein geistreicher Rückblick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik, der die Weltwunder unserer Zeit verdankt werden.

Die Metalle. Von Prof. Dr. K. Scheid. Mit 16 Abbildungen.

Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle nach ihrem Wesen, ihrer Verbreitung und ihrer Gewinnung.

Geschichte. Kunst- und Kulturgeschichte. Religionsgeschichte. Volkswirtschaft und Verkehrswesen. Staatswissenschaft. Geographie.

Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Professor Dr. A. Matthaei. Mit zahlreichen Abbildungen im Text.

Will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen Baukunst des Mittelalters zugleich über das Wesen der Baukunst als Kunst aufklären.

Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Sechs Vorträge von Prof. Dr. E. Loening.

Beabsichtigt in gemeinverständlicher Sprache in das Verfassungsrecht des deutschen Reiches einzuführen, soweit dies für jeden Deutschen erforderlich ist.

Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Oberlehrer Dr. Heil. Mit Abbildungen.

Stellt die geschichtliche Entwicklung dar, schildert die wirtschaftlichen, sozialen und staatsrechtlichen Verhältnisse und gibt ein zusammenfassendes Bild von der äußeren Erscheinung und dem inneren Leben der deutschen Städte.

Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts in seiner Entwicklung dargestellt. Von Prof. Dr. G. Witkowski. Mit einem Bildnis Hebbels.

Sucht in erster Linie auf historischem Wege das Verständnis des Dramas der Gegenwart anzubahnen und berücksichtigt die drei Faktoren, deren jeweilige Beschaffenheit die Gestaltung des Dramas bedingt: Kunstanschauung, Schauspielkunst und Publikum, nebeneinander ihrer Wichtigkeit gemäß.

Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Privatdozent Dr. J. W. Bruinier. 2. Auflage.

Handelt in schwungvoller Darstellung vom Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges.

Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dr. Ed. Otto. Mit 27 Abbildungen auf 8 Tafeln.

Eine Darstellung der historischen Entwicklung und der kulturgeschichtlichen Bedeutung des deutschen Handwerks von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

15,–

…del der Jahrhunderte. Von Dr. Ed. Otto.

…s von der Urzeit bis zum Beginn des 19. Jahrhunderts, … Wirksamkeit der deutschen Frau, wie sie sich im Wandel

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900. Sechs volkstümliche Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung, sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft von Professor Dr. Walther Lotz.

Erörtert nach einer Geschichte des Eisenbahnwesens insbesondere Tarifwesen, Binnenwasserstraßen und Wirkungen der modernen Verkehrsmittel.

Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. O. Weise. Mit 26 Abbildungen.

Schildert, durch eine gute Auswahl von Städte- Landschafts- und anderen Bildern unterstützt, die Eigenart der deutschen Gaue und Stämme.

Bevölkerungslehre. Von Professor Dr. M. Haushofer.

Will in gedrängter Form das Wesentliche der Bevölkerungslehre geben, über Ermittlung der Volkszahl, über Gliederung und Bewegung der Bevölkerung, Verhältnis der Bevölkerung zum bewohnten Boden und die Ziele der Bevölkerungspolitik.

Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert von Dr. Chr. Gruber. Mit 4 Karten.

Beabsichtigt ein gründliches Verständnis für den sieghaften Aufschwung unseres wirtschaftlichen Lebens seit der Wiederaufrichtung des Reichs herbeizuführen.

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 2. Auflage.

Will auf historischem Wege in die Wirtschaftslehre einführen, den Sinn für soziale Fragen wecken und klären.

Die ständischen u. sozialen Kämpfe in der römischen Republik. Von Leo Bloch.

Behandelt die Sozialgeschichte Roms, soweit sie mit Rücksicht auf die die Gegenwart bewegenden Fragen von allgemeinem Interesse ist.

Mensch und Erde. Skizzen von Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von Professor Dr. A. Kirchhoff.

Zeigt, wie die Ländernatur auf den Menschen und seine Kultur einwirkt durch Schilderungen allgemeiner und besonderer Art über Steppen- und Wüstenvölker, über die Entstehung von Nationen, über Deutschland und China u. a. m.

Palästina und seine Geschichte. Sechs volkstümliche Vorträge von Professor Dr. von Soden. Mit zwei Karten und einem Plan von Jerusalem. 2. Aufl.

Ein Bild nicht nur des Landes selbst, sondern auch alles dessen, was aus ihm hervor- oder über es hingegangen ist im Laufe der Jahrhunderte.

Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Professor Dr. Fr. Giesebrecht.

Schildert wie Israels Religion entsteht, wie sie die nationale Schale sprengt, um in den Propheten die Ansätze einer Menschheitsreligion auszubilden, wie auch diese neue Religion sich verpuppt in die Formen eines Priesterstaats.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.

Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Privatdozent Weinel.

Will gegenüber kirchlicher und nichtkirchlicher Allegorisierung der Gleichnisse Jesu mit ihrer richtigen, wörtlichen Auffassung bekannt machen und verbindet damit eine Einführung in die Arbeit der modernen Theologie.

Aus der Werdezeit des Christentums. Von Professor Dr. J. Geffcken.

Gibt durch eine Reihe von Bildern eine Vorstellung von der Stimmung im alten Christentum und von seiner inneren Kraft und verschafft so ein Verständnis für die ungeheure und vielseitige welthistorische kultur- und religionsgeschichtliche Bewegung.

Die Jesuiten. Eine historische Skizze von H. Boehmer-Romundt.

Ein Büchlein nicht für oder gegen, sondern über die Jesuiten, also der Versuch einer gerechten Würdigung des vielgenannten Ordens.

Die Polarforschung. Von Prof. Dr. Kurt Hassert in Tübingen. Mit mehreren Karten.

Faßt die Hauptfortschritte und Ergebnisse der Jahrhunderte alten, an tragischen und interessanten Momenten überreichen Entdeckungstätigkeit zusammen.

Restauration und Revolution. Von Dr. R. Schwemer.

Die Arbeit behandelt das Leben und Streben des deutschen Volkes in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, von dem ersten Aufleuchten des Gedankens des nationalen Staates bis zu dem tragischen Sturze in der Mitte des Jahrhunderts.

1848. Sechs Vorträge von Professor Dr. O. Weber in Prag.

Bringt auf Grund des überreichen Materials in knapper Form eine Darstellung der wichtigen Ereignisse des Jahres 1848, dieser nahezu über ganz Europa verbreiteten großen Bewegung in ihrer bis zur Gegenwart reichenden Wirkung.

Geschichte des Zeitalters der Entdeckungen. Von Professor Dr. S. Günther

Mit lebendiger Darstellungsweise sind hier die großen weltbewegenden Ereignisse der geographischen Renaissancezeit ansprechend geschildert. (Geogr. Zeitschr.)

Das Theater. Von Privatdozent Dr. Borinski. Mit 8 Bildnissen.

Läßt bei der Vorführung der dramatischen Gattungen die dramatischen Muster der Völker und Zeiten tunlichst selbst reden.

Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. Reich illustriert. 2. Auflage.

Verfolgt durch mehr als vier Jahrtausende Schrift-, Brief- und Zeitungswesen, Buchhandel und Bibliotheken.

Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. Rudolf Kautzsch. Mit zahlr. Abbild.

Behandelt ein besonders wichtiges und besonders lehrreiches Gebiet der Kunst — denn „das Tiefste und Beste, was unser Volk bewegt, haben unsere Künstler in Bilderfolgen und Illustrationen ausgesprochen" — und leistet zugleich, indem es an der Hand der Geschichte das Charakteristische der Illustration als Kunst zu erforschen sucht, ein gut Stück „Kunsterziehung".

Weitere Bändchen befinden sich in Vorbereitung.

Jedes Bändchen geheftet 1 Mk., geschmackvoll gebunden 1 Mk. 25 Pfg.